

Металлургия және дәнекерлеу техникасы

Үдерістер және өнеркәсіптік қолдану

Өңдеген
Режис Блондо

Алғаш рет Францияда 2001 жылы Hermes Science / Lavoisier баспасында «Métallurgie et mécanique du soudage »и« Procédés et Applications Industrielles du soudage » атауымен екі томда жарияланды. 2008 жылы ISTE Ltd және John Wiley & Sons, Inc. компаниялары Ұлыбританияда және АҚШ-та жарияланған.

Зерттеу немесе жеке зерттеу, немесе сын, немесе шолу, кез-келген адал мәміледен басқа 1988 жылғы үлгілер мен патенттерде авторлық құқық туралы Заңмен рұқсат етілген, бұл басылым баспаның алдын ала жазбаша рұқсатымен қайта жариялануы, сақталуы немесе кез-келген түрде немесе кез-келген тәсілмен берілуі мүмкін, немес CLA шығарған шарттар мен лицензияларға сәйкес көшірмелеу.

Осы шарттардан тыс қайта басу туралы өтініштер төмендегі мекенжай бойынша баспагерлерге жіберілуі керек:

ISTE Ltd John Wiley & Sons, Inc.
27-37 St George's Road 111 River Street
London SW19 4EU Hoboken, NJ 07030

UKUSA

www.iste.co.uk www.wiley.com
© ISTE Ltd, 2008
© LAVOISIER, 2001

Режис Блондоның осы жұмыстың авторы ретінде танылатын құқықтары, 1988 жылғы үлгілері және патентінде, авторлық құқық туралы Заңға сәйкес расталды.

Конгрестің Басылымдар Кітапханасының Каталогтандыру Деректері

Métallurgie et mécanique du soudage English] Металлургия және дәнекерлеу механикасы: үдерістер және өнеркәсіптік қосымша / Реджис Блондо редакциясымен.

Аударма "Métallurgie et mécanique du soudage and Procédés et applications industrielles du soudage".

Библиографиялық нұсқаулармен сілтемелерді қамтиды.

ISBN 978-1-84821-038-7 1. Дәнекерлеу. II. Блондо, Режис. II. Атауы: Procédés et applications industrielles du soudage.

TS227.M385 2008
671.5'2 - dc22

200802755

Британкітапханасыныңкаталогтықбасылымдарытуралыақпарат Британ кітапханасында осы кітапқа CIP кіруі қол жетімді ISBN: 978-1-84821-038-7

ҰлыбританиядабасыпшығарылдыжәнеқайтабасылдыCPI / Antony Rowe Ltd, Чиппенхем, Уилтшир.

Мазмұны iii

Алғысөз Дәнекерлеу: екі қатты заттың_xi

Дәнекерлеу қосылысының тұтастығы_1

1-тарау Дәстүрлі дәнекерлеу үдерістері_1

1.1 Кіріспе_1

1.2 Металл байланысын жасауға қажетті жағдайлар_1

1.2.1 Бетті белсендендіру_1

1.2.2. Қосылыстарды жасаған кезде кедергілерді жою_2

1.2.3 Біз түрлі дәнекерлеу үдерістерін қалай жіктей аламыз?_3

1.3 Өнеркәсіптік дәнекерлеу үдерістері_3

1.3.1 Механикалық әсерді қолданбай компоненттерді жергілікті балқыту үдерістері_3

1.3.1.1 Газалаумен дәнекерлеу_4

1.3.1.2 Плазмалы дәнекерлеу_5

1.3.1.3 Доғалы дәнекерлеу_6

1.3.2 Механикалық әсер қолданылатын компоненттерді жергілікті балқыту үдерістері_16

1.3.3 Механикалық әсермен балқытпай қыздыруды пайдаланылатын үдерістер_19

1.3.4 Қыздырусыз механикалық әсер пайдаланылатын үдерістер_21

1.4 Пайдаланылған әдебиет тізімі_21

2-тарау Жоғары тығыздықты сәулелі дәнекерлеу үдерістері: электронды сәуле және лазерлік сәуле_22

2.1. Жоғары тығыздықты энергиясы бар сәулелік дәнекерлеу қасиеттері_22

2.2. Лазерлік сәулемен дәнекерлеу_24

2.2.1. Алдыңғы тарих_24

2.2.2. Құрылғы принципі_24

2.2.3. Лазерлердің әр түрлі типтері_25

2.2.3.1. CO₂-лазердің көздері_25

2.2.3.2. Неодимді YAG-лазер көздері_26

2.2.3.3. Жартылай өткізгіш лазер көздері (немесе лазерлік диодтар)_29

2.2.4. Лазерлік жүйелер_29

2.2.4.1. Лазерлік сәулені тасымалдау_29

2.2.4.2. Фокустеу_30

2.2.4.3. Өңделетін бөлікті және сәулені ауыстыру жүйесі_31

2.2.4.4. Шеткі жүйелер_34

2.2.5. Дәнекерлеуде лазерлік сәулесін пайдалану_35

2.3. Электронды-сәулелік дәнекерлеу_37

2.3.1. Алдыңғы тарих [FRI 98]_37

2.3.2. Құрылғы принципі_38

2.3.3. Жабдық_38

2.3.4. Жалғастырылатын бөліктердің құрылымы және дайындау_42

2.4. Жоғары тығыздықты сәулелі дәнекерлеу металлургиясы_43

2.4.1. Болаттар_43

2.4.1.1. Технологиялық пісірімділігі_43

2.4.1.2. Металлургиялық пісірімділігі_43

- 2.4.2. Алюминий қорытпалар_48
- 2.4.3. Никель негізіндегі қорытпалар_50
- 2.4.4. Титан негізіндегі қорытпалар_51
- 2.4.5. Цирконий негізіндегі қорытпалар_52
- 2.4.6. Мыс негізіндегі қорытпалар_52

2.5. Дәнекерлеу қосылыстарының механикалық қасиеттері_53

2.6. Құрастырулар сапасы_54

- 2.6.1. Дәнекерлеу жіктерінің ақаулары_55
- 2.6.2. Дәнекерлеу жіктерінің сапасын бақылау әдістері_56
- 2.6.3. Дәнекерлеу жұмыс режимін аттестаттау және стандарттау_56

2.7. Экономикалық факторлар_56

- 2.7.1. Электронды-сәулелік білдек құны_56
- 2.7.2. Лазерлік сәулесі бар білдектің құны_56

2.8. Қауіпсіздік [НЭЕ 00]_58

2.9. Өнеркәсіптік қолдану мысалдары_59

- 2.9.1. Электронды-сәулелік дәнекерлеу_59
- 2.9.2. Лазерлік дәнекерлеу_60

2.10. Әрі қарай даму келешектері_60

2.11. Пайдаланылған әдебиеттер тізімі_63

3-тарау. Термиялық әсер ету аймағындағы термиялық, металлургиялық және механикалық құбылыстар_64

3.1 Дәнекерлеудің термиялық аспектілері_64

- 3.1.1 ТӨА-дегі шекті температура_68
- 3.1.2 ТӨА-дегі салқындату параметрі_69

3.2 ТӨА-дағы микроқұрылымды өзгерістер: дәнекерлеудің термиялық циклдерінің металлургиялық салдары_73

- 3.2.1 Жылыту кезіндегі ТӨА түрлендіруі_73
- 3.2.2 Суыту кезіндегі ТӨА-ге түрлендіру_77
- 3.2.3 Көп өтпелі дәнекерлеу үлгісі i80
- 3.2.4 Суық жарылу_82
- 3.2.6 Қабатталу (қатпарлану)_85

3.3 Термиялық циклдардың ТӨА механикалық қасиеттеріне әсері_86

- 3.3.1 ТӨА-да қаттылықтың немесе тіркесудің механикалық қасиеттерінің модификациялары_86
- 3.3.2 ТӨА беріктік қасиеттері_87
- 3.3.3 Дәнекерлеумен байланысты қалдық кернеулер_89
- 3.3.4 Кернеуге төзімді қалдық термоөңдеудің ТӨА-ға әсері_90

3.4 Қолданылған әдебиеттер тізімі_92

4-тарау. Балқытылған металл_95

4.1 Металлургиялық көрсеткіштер_95

4.2 Балқытылған металл_97

- 4.2.1 Термиялық аспект_97
- 4.2.2 Химиялық аспект_98
- 4.2.3 Ферритті болаттан жасалған дәнекерленген тігістердегі микроқұрылымдар: беріктік сипаттамаларымен байланыс_99

4.3 Дәнекерлеудің негізгі ақаулары_106

- 4.3.1 Ыстық жарылу_106
- 4.3.2 Суық жарылу_111
- 4.3.3 Жарылуды қыздыру_114

4.3.4 Кеуектілік_115

4.4 Қолданылған әдебиеттер тізімі_118

5-тарау. Дәнекерлеу өнімдері_120

5.1 Жабыны бар электродтар_120

5.1.1 Жабын құрамы: салдары_120

5.1.2 Негізгі электродтар және диффузиялаушы сутегі_122

5.2 Флюстер арқылы доғалы дәнекерлеуге арналған флюстер_125

5.2.1 Балқытылған флюстер және түйіршіктелген флюстер: артықшылықтары мен кемшіліктері_125

5.2.2 Ағынның рөлі: металлургиялық аспектілері_131

5.3 Дәнекерлеу газдары_128

5.3.1 Инфузиялық электродпен газ ағынының астындағы дәнекерлеу процестері_128

5.3.2 Балқытын электродпен газ ағыны арқылы дәнекерлеу үдерістері_135

5.4 Ұнтақ сым_136

5.4.1 Өндірістік үдерістер_136

5.4.2 Ұнтақты сым типтері_137

5.4.3 Титан / бордың рутил өзекшелеріне қатысты әсері_139

5.5 Дәнекерлеу бұйымдарын таңдау_139

5.6 Дәнекерлеу бұйымдары және дәнекерлеушінің айналасы_141

5.6.1 Жабыны бар электродтар_141

5.6.2 ВИГ дәнекерлеуге арналған газ қоспалары_142

5.6.3 GMAW арналған газ қоспалары_144

5.6.4 Ұнтақ сым_146

5.7 Қолданылған әдебиеттер тізімі_147

6 Тарау Дәнекерленген қосылыстардың қажу беріктігі_148

6.1 Қажу беріктігі_148

6.1.1 Кіріспе_148

6.1.2 Негізгі дәнекерленген қосылыстардың тозғаннан бұзылуы_149

6.1.3. Номиналды кернеу тұжырымдамасы_151

6.1.4 Дәнекерленген қосылыстардың төзімділік факторлары_152

6.1.4.1. Геометриялық факторлар_153

6.1.4.2. Металлургиялық факторлар_156

6.1.4.3 Қосымша жүктемелердің қасиеттері_161

6.2. Механикаландырылған дәнекерлеудегі қосылыстардың мөлшерін анықтау_162

6.2.1. Мәселе жағдайы_162

6.2.2. Жалпы әдіс (Қолданыстағы тәртіп)_163

6.2.3 Тексеру әдістері_163

6.2.4. Геометриялық құрылымдық кернеу әдісі_165

6.2.4.1. Әдістің принципі_165

6.2.4.2. Геометриялық кернеуді анықтау_166

6.3 Қолданылған әдебиеттер тізімі_170

7-тарау Дәнекерлеу қосылыстарының бұзылуының тұтқырлығы_171

7.1 Пластикалық және морттық бұзылуы_171

7.2 Металл материалдарды бұзу тәуекелін бағалау_172

7.2.1 Иілімдіден морттық жағдайға өту температурасын анықтау_172

7.2.2 Серпімді сызықты өрісте бұзылу критерийін анықтау_175

7.2.3 Серпімді пластикалық саласындағы бұзылу критерийлері_178

7.3 Дәнекерлеу қосылыстарының бұзылу тәуекелін бағалау_181

7.3.1 Дәнекерленген тігістің біртектілігі_181

7.3.2 Үлгі алу шарттары_182

7.3.3 Тұтқыр күйден морттық күйге өту температурасын анықтау_183

7.3.4 Беріктікті бағалаудың түрлі әдістері_185

7.4 Сыну тәуекелдерін бағалау кезіндегі әртекстіліктің салдарлар_187

7.4.1 Сәйкес келмейтін әсерлер_187

7.4.2 Негізгі материалдың әсері_190

7.4.3 Қоспа металдардың әсері_192

7.4.4 Дәнекерлеу шарттарының маңыздылығы_192

7.4.5 Қалдық кернеуді бағалау және есепке алу_193

8-тарау Беткі бөлігі өңделген және өңделмеген болатқағаздарды пісірімдеу_196

8.1 Нүктелік дәнекерлеу_196

8.1.1 Дәнекерлеу қағидалары_196

8.1.2 Нүктелік дәнекерлеу кезіндегі пісірімділік сынақтары_197

8.1.2.1 Пісірімділік аумағы_197

8.1.2.2 Электрод беріктігі_199

8.1.3 Жұқа болат қағаздарды нүктелік дәнекерлеу кезіндегі пісірімділік_204

8.1.3.1 Металл жабыны бар болат қағаздар_205

8.1.3.2 Тікелей ток көмегімен нүктелік дәнекерлеу (DC)_206

8.1.3.3 Органикалық жабыны бар қағаз болат_207

8.1.3.4 Беріктігі аса жоғары болаттар_208

8.2 Жікпен дәнекерлеу_205

8.2.1 Жиіктерді талқандайтын доңғалақты дәнекерлеу_205

8.2.2 Қабаттап дәнекерлеу жігі_206

8.2.3 Клиенттер зерттейтін немесе орындайтын қолдану мысалдары_208

8.3 Жұқа болат қағаздарды лазермен дәнекерлеу_208

8.3.1 Өтпелі балқытудың лазермен дәнекерлеу қағидасы [BOI92]_209

8.3.2 Түйіс жік_210

8.3.2.1 Дәнекерлеудің эксплуатациялық параметрлерінің әсері_211

8.3.2.2 Лазер сәулесінің түйіс жігінің шектеуіш шарттары [VER99]_211

8.3.2.3 Механикалық ерекшеліктері жоғары болаттарды лазермен дәнекерлеу_212

8.3.2.4 Жабыны бар болаттарды дәнекерлеу_213

8.3.2.5. Автомобиль өндірісіндегі дайындамаларды лазермен дәнекерлеу [VER99]_214

8.3.3. Қабаттап дәнекерлеу қосылысы_216

8.4 Имектеп дәнекерлеу_216

8.4.1 Инертті газ ортасында вольфрамды электродпен имектеп дәнекерлеу_217

8.4.2 Балқытын электродпен имектеп дәнекерлеу_218

8.4.2.1 Ауысу түрлері_218

8.4.2.2 Жабыны бар жұқақағазды болат мысалы_219

8.4.2.3 HYS және HS болаттарының корпусы_220

8.4.2.4 Қалыптастырылған білікше қаттылығының күшеюі_221

8.5. Пайдаланылған әдебиеттер тізімі_222

9-бөлім Болат металл компоненттерді дәнекерлеу_223

9.1 Кіріспе_223

9.2. Механикалық компоненттердегі дәнекерлеу қосылыстарының ерекшеліктері_

9.2.1. Стандартты дәнекерлеу процестері және жалпы ұсынымдар_224

9.2.2. Балқыма аймағындағы және термиялық әсер ету аймағындағы

металлургиялық ақаулар_226

9.2.2.1. Балқыту аймағындағы ақаулар_226

9.2.2.2. Түрлі жарылу түрлері_227

9.2.3. Қайта балқытумен және онсыз дәнекерлеу кезінде дәнекерленуге рұқсат беру_227

9.2.3.1. Күшті балқытудың негізгі салдары_228

9.2.3.2. Термиялық әсер ету аймағының сынғыштығын жою_228

9.2.3.3. Қайта балқытусыз дәнекерлеу_229

9.3. *Механикалық компоненттерді дәнекерлеудің негізгі түрлері_230*

9.3.1. Электр доғалы дәнекерлеу және баламалары [CAZ 95, COL 83]_230

9.3.1.1. Әр түрлі санаттар_231

9.3.1.2. Мысал:Жетекті білікті және корпусты доғалы дәнекерлеу_231

9.3.2. Жоғары тығыздықтағы энергия көздерін: лазерлік сәуле, электрондық сәуле, плазма пайдалана отырып, ТӨА термиялық әсерінің азайтылған аймағында дәнекерлеу_234

9.3.2.1. Әр түрлі санаттар_234

9.3.2.2. Metallургия сапасы_235

9.3.2.3. Дәнекерлеу бөлшектерінің мысалдары_237

9.3.3. Үйкеліспен дәнекерлеу_238

9.3.3.1. Жұмыс істеу принципі_238

9.3.3.2. Өндірістің бірнеше мысалы_240

9.3.4. Джоэль әсеріне сәйкес түйіс жік_241

9.3.4.1. Қағида_241

9.3.4.2. Мысал: таратқыш білікте ұштықты ерітіп жабыстыру_243

9.3.5. Қатты фазадағы диффузиялық дәнекерлеу_244

9.3.5.1 Сипаты мен сипаттамалары_245

9.3.5.2. Қолдану аясы_246

9.4. *Осы компоненттерді дәнекерлеудің ерекшеліктері менбақылауы_246*

9.4.1. Дәнекерлеу сапасының ерекшеліктері_247

9.4.1.1. Мазмұны_247

9.4.1.2. Негізгі ерекшелік кестесі_250

9.4.1.3. Ерекшеліктердің соңғы кестесі_250

9.4.2. Дәнекерлеу жігінің сапасын қамтамасыз ету жөніндегі жоспар_250

9.4.2.1. Мазмұны_251

9.4.2.2. Сапаны қамтамасыз ету жөніндегі жоспардың үлгісі_254

9.5. *Даму және жалпы бағыттар_254*

9.5.1. Контекст эволюциясы_252

9.5.2 Оң процесстер_255

9.6 Қорытынды_256

9.7 Пайдаланған әдебиеттер_258

10-бөлім Болат құрылымдарды дәнекерлеу_259

10.1 Кіріспе_259

10.1.1 Тарихы_259

10.1.2. Қолдану салалары_260

10.2. *Болат құрылымдарға арналған болат_261*

10.2.1. Сорт және сапа_261

10.2.2. Қолданыстағы болат_261

10.3. *Болат құрастырмаларда дәнекерлеу үдерістері мен жолдары_262*

10.3.1. Үлгілік үдерістер кестесі_262

10.3.2. Алдын ала өңдеу: технологиялық тігіс_263

10.3.3. Дәнекерлеудің ерекше әдістері_264

10.3.3.1. Орындық үстінде көлденеңнен дәнекерлеу_264

- 10.3.3.2 Орындық үстінде тігінен дәнекерлеу_264
- 10.3.3.3. Істіктерді дәнекерлеп жабыстыру_264
- 10.3.3.4 Алюминотермия_265
- 10.3.4 Дәнекерлеу кезіндегі типтік қалыптар_265
- 10.3.5 Жиіктемені өңдеу_265
- 10.4 Дәнекерлеу деформациясы_266
 - 10.4.1 Сақтық шараларын орындау_267
 - 10.4.2 Түзету_268
- 10.5 Ақаулар және оларды болдырмау_268
 - 10.5.1 Жарықтар_268
 - 10.5.1.1 Тік жарықтардың пайда болуы әсерімен туындаған жарықтар_268
 - 10.5.1.2 Суықтан шытынау_269
 - 10.5.2 Бұзылу_269
 - 10.5.2.1 Морт сыну_269
 - 10.5.2.2 Қажу омырылымы_269
 - 10.5.3 Басқа да жылуға қатыста және механикалық сақтық шарлары_269
 - 10.5.3.1 Төмен температурада алдын ала қыздыру_270
 - 10.5.3.2 Алдын ала қыздыру_270
 - 10.5.3.3 Кейінгі қыздыру_276
 - 10.5.3.4 Жылумен өңдеу_276
- 10.6 Құрастармаларды қиратпай сынақтан өткізу ерекшеліктері_270
- 10.7 Даму болашағы_270
- 9.7 Пайдаланған әдебиеттер_271

11-тарау Атом өндірісіндегі ауыр компоненттерді дәнекерлеу_274

- 11.1. Су-сулы реактордың жоғары қысым түтігін жалпы презентациялау_274
- 11.2. Өндірісте пайдаланылатын негізгі материалдар_275
 - 11.2.1. Материалдарды таңдау қағидасы – құрылыс нормасы_275
 - 11.2.2. Жоғары қысым түтіктеріне арналған төмен қосындыланған болат_275
 - 11.2.3. Аустенитті тот баспайтын болаттың арналары_277
 - 11.2.4. Никельді қорытпа бөлшектері_277
- 11.3. Төмен қосындыланған болаттардың үлкен құрауыштарын дәнекерлеу_278
 - 11.3.1. Белгіленген өлшемдер_279
 - 11.3.2. Ресімдік сипаттама_279
 - 11.3.3. Электродтармен жабындалған дәнекерлеу_282
- 11.4 Жалату_282
 - 11.4.1 Жалату тәсілі_282
 - 11.4.2 Жалатуды бақылау_284
- 11.5 Контурларды тот баспайтын болатпен дәнекерлеу_284
- 11.6.Әр текті металдардың айырық қабаттары_287
- 11.7.Бу генераторлық құбырларды дәнекерлеу_288
- 11.8. Қорытындылар_289

12-тарауТот баспайтын болатты дәнекерлеу_292

- 12.1 Анықтамалар_292
- 12.2 Тот баспайтын болаттың негізгі топтары_292
- 12.3 Металлургиялық құрастырылымдар_293
- 12.4 Жағдай диаграммалары_296
 - 12.4.1 Кіріспе_296

12.4.2 Баламалы формулаларды есептеу	296
12.4.3 Жағдай диаграммалары	297
12.5 Ферритті тот баспайтын болатты дәнекерлеу	301
12.5.1 Кіріспе	301
12.5.2 Дәнекерлеу кезінде туындайтын тәуекелдер	301
12.5.3 Тұрақтандыратын өңдеу	302
12.5.4 Морттану тәуекелдері	302
12.5.5 Қосындылайтын материалдар	303
12.5.6 Қорғаныс газдары	304
12.5.7 Түйіндеме: жеке қорытынды	304
12.6 Мартенситті тот баспайтын болаттарды дәнекерлеу	305
12.6.1 Кіріспе	305
12.6.2 Мартенситті тот баспайтын болаттардың тізімі	306
12.6.3 С, Сг және Ni элементтерінің Жілмегіне әсері	306
12.6.4 Мартенситті тот баспайтын болаттардың металлургиялық дәнекерленуі	307
12.6.5 Қорытынды: толық емес шолу	308
12.7 Аустенитті тот баспайтын болатпен дәнекерлеу	308
12.7.1 Кіріспе	308
12.7.2 Дәнекерлеу кезінде туындайтын тәуекелдер	308
12.7.3 Карбидтердің бөлінуі	309
12.7.4 Ыстық шытынаулардың пайда болуы	309
12.7.5 Сигма-фаза	311
12.7.6 Қосындылайтын өнімдер	311
12.7.7 Қорғаныс газы	311
12.8 Аустенитті-ферритті тот баспайтын болаттарды дәнекерлеу (дуплексі үдеріс)	312
12.8.1 Кіріспе	312
12.8.2 Дәнекерлеу кезінде туындайтын тәуекелдер	312
12.8.3 Аустенитті-ферритті тот баспайтын болаттардың тізімі	312
12.8.4 Аустенитті-ферритті болаттардың дәнекерленуі	312
12.8.5 Қосындылайтын материалдар	314
12.8.6 Қорғаныс газдары	314
12.9 Біртекті емес дәнекерлеу	315
12.9.1 Анықтамалардың көрсеткіші	315
12.9.2 Дәнекерлеу жапсарларының біртекті болмауын өңдеу және болжау	315
12.10 Дәнекерлеу жапсарларын өңдеу	316
12.11 Глоссарий	317
12.12 Пайдаланылған әдебиет	318
13-тарау Алюминий қорытпаларын дәнекерлеу	319
13.1 Дәнекерлеу металлургиясы	319
13.1.1 Алюминий қорытпаларының дәнекерленуі (болаттарды/алюминийді салыстыру)	319
13.1.2 Дәнекерлеу металдары	321
13.2 Дәнекерлеу тәсілдері	325
13.2.1 Кіріспе	325
13.2.2 Доғалық дәнекерлеу тәсілі (TIG және MIG)	325
13.2.2.1 TIG-дәнекерлеу кезіндегі айнымалы тоқ	326
13.2.2.2 TIG-дәнекерлеудің тұрақты немее импульстік тоғы	327
13.2.2.3 Металға инертті газ	327
13.2.3 Кедергімен байланыс дәнекерлеу	329
13.2.4 Балқыту арқылы түйіспелі дәнекерлеу	331

- 13.2.5 Үйкеліс арқылы және араластыру арқылы үйкеліспен дәнекерлеу_331
- 13.2.6 Электронды-сәулелі дәнекерлеу_332
- 13.2.7 Лазерлік дәнекерлеу_333
- 13.2.8 Басқа әдістер_334

13.3 *Алюминийден жасалған жартылай фабрикаттардың дәнекерлеу бұйымдарын дайындау және пайдалану*_334

- 13.3.1 Беттердің алюминий қорытпасынан ерекшеліктері_334
- 13.3.2 Сақтау_335
- 13.3.3 Беттік қабатты дайындау_336
- 13.3.4 Дәнекерленген жіктерді тазалау_336

13.4 *Деформации*_336

- 13.4.1 Кіріспе_336
- 13.4.2 Шөгу_340
- 13.4.3 Негізгі ережелер_340

13.5 *Дәнекерлеу құрылымдарының мөлшерін анықтау*_342

- 13.5.1 Электростатикалық кедергінің бөгеті_342
- 13.5.2 Қажу дәрежесін есептеу_344
- 13.5.3 Дәнекерлеу құрылымдарын оңтайлы пайдалануды реттейтін ережелер_345

13.6 *Дәнекерлеудің ақаулары*_345

13.7 *Қауіпсіздік және еңбекті қорғау*_347

13.8 *Библиография*_347

14-тарау Стандарттау: дәнекерлеуді ұйымдастыру және сапасын бақылау 346

14.1 *Кіріспе*_348

14.2 *Сапаны жалпы ұйымдастыру стандарттары*_348

- 14.2.1 Презентация_348
- 14.2.2 Жұмыстың қағидалары_349
- 14.2.3 Талдау_349
 - 14.2.3.1 Дәнекерлеу және басқа да жұмыс түрлері_351
 - 14.2.3.2 Дәнекерлеу мен тексеруге жауапты персонал_351
 - 14.2.3.3 Тексеру, сараптама және сынау_352

14.3 *Дәнекерлеу жұмыстарын аттестаттауға арналған стандарттар*_352

14.4 *Бұзбай бақылау стандарттары*_354

14.5 *Қорытынды*_357

Авторлар тізімі 358

Алфавиттік көрсеткіш_360

Алғы сөз

Дәнекерлеу: екі қатты заттың дәнекерлеу қосылысының тұтастығы

Дәнекерлеудің тарихы тым ұзақ! 19 ғасыр аяғында ғалымдардың назарын алғаш рет өзіне аударған дәнекерлеумен қосу техникасы алдымен ацетиленоттекті дәнекерлеу болып, кейін доғалық және түйіспелі дәнекерлеу ретінде техниктердің қолданылуына ауысты. Одан кейін басқа да әдістер әзірленді (біз осы алғысөзде олардың барлығына тоқталмаймыз) және 20-шы ғасыр 1980 жылы бастау алатын лазерлі дәнекерлеу әдісімен аяқталды.

Дегенмен, 1950 жылдардан ғана дәнекерлеу құрастырудың басты құралына айналғанын атап өткен жөн, өйткені осы уақытқа дейін қапсырмалармен біріктіру әдісі жиі пайдаланылатын.

Осы әдістен бас тартылған кезден-ақ ғалымдар 1930 жылдары дәнекерлеуді тереңірек зерттей бастады, бұл кезде Франциядағы Альберт Портевин автогенді дәнекерлеу негіздерін зерделеу тәсілін ойлап тапты («Les bases scientifiques de la soudure autogène», ол 1931 жылы Дәнекерлеу институтында («L'Institut de Soudure») жоғары білім беру бағдарламасына енгізілді. 1930-шы жылдары дәнекерлеу бұзылған көпірлерді, әсіресе Алмания мен Бельгияда, қайта құрастыру үдерісінде қолданылды, одан кейін Екінші дүниежүзілік соғыс кезінде «Либерти» пароходтарынан айырылғаннан соң және дәнекерлеудің осы техникасы негізінде кемелер көп көлемде құрастырылды. Кейін жоғары қысымды сыйымды ыдыстардың апаттық бұзылуы орын алды. Дәл осыған байланысты 1948 жылы Халықаралық Дәнекерлеу Институты (ХДИ / IIW) ашылды. Институттың ашылуы халықаралық байланыстардың, әсіресе қауіпсіздік және ғылыми зерттеулер мәселелері бойынша даму қажеттілігін туғызды, түрлі жүйелердің мемлекеттік билік органдары мен ғалымдардан бастап, пайдаланушыларға дейін бүкіл дәнекерлеушілер қоғамы дәл осы мәселелерді қозғады. Ал бүгін, 2008 жылы ХДИ / IIW оқыту және ғылыми зерттеулер стратегияларын қоса алғанда, жобалаудан пайдаланушылық сипаттамалары мен қауіпсіздікке дейін бүкіл дәнекерлеу саласын қамтып, 16 комиссия мен кіші комиссиялардың, зерттеуші топтардың қатысуымен, өзінің 61-ші жылсайынғы жиналысын өткізуде. Бұл халықаралық серіктестік үлесінің құндылығы мен байлығын дәлелдейді.

Дәнекерлеуді, тұспалдап айтқанда, жақсы жағымды және жағымсыз жағынан қарастыруға болады. Расында да, бұл металдан бастап пластмассаға дейін бүкіл материалдарды дерлік үздіксіз біріктіруге мүмкіндік береді; бірақ ол біртектілікті білдірмейді. Үдерістер мен тиісінше мүмкіндіктер де сақталуы міндетті құрастыру түрлеріне, талап етілетін қасиеттер мен айқын экономикалық шектеулерге байланысты өте көп.

Сонымен қатар, дәнекерлеуді көптеген құрылмалардың әлсіз буыны ретінде қарастыруға болады, проблемалар туындағанда бұл жиі күмәнді болып көрінеді. Жоғарыда көрсетілген мысалдарда (көпірлер, Либерти кемелері, жоғары қысымды сыйымды ыдыстар) дәнекерлеуге қатысты әр кезде күмән туындайды - жиі оған кенеттен істен шығуға қатысты беріктігі жеткіліксіз негізгі металдың бір бөлігін қосу қажет.

Дәнекерлеу кезінде туындайтын құбылыстар көп және күрделі болып келеді. Әсіресе, мейлінше шұғыл жылу циклдардың дәнекерленетін материалдардың физикалық-металлургиялық және механикалық қасиеттері бойынша жоғары температура кезінде де әсері мұқият түсінуді үнемі талап етеді.

Бұл жұмысты меңгеру үшін көптеген ғылыми, сондай-ақ техникалық ақпаратты іс жүзінде пайдалану мақсатында авторлардың бірқатарына жүгінуге тура келді. Түрлі бөлімдер арасындағы белгілігі сәйкессіздік, сондай-ақ кейбір қайталаулар бұл еңбектің кемшілігі болып табылатыны сөзсіз. Басқа жағынан, бұл фактінің санқырлылығын атап өтуге болады, өйткені бұл еңбекке өз саласында кең танымал көптеген француз мамандары өз үлестерін қосты. Бүгінгі күнгі дәнекерлеу туралы білімнің негізінде осы саланың мейлінше толық мәнін елестетуге болады, бірақ ол толыққанды болуға лайықты емес (мысалы, пластмассаларды дәнекерлеу оның мүмкіндіктері шеңберінен шығады).

Бірінші тараудағы металлургия және дәнекерлеу техникасына арналған 7 бөлімнің 1 және 2 - бөлімдерінде толтырғышпен және толтырғышсыз жүргізілетін, механикалық әсермен

және онсыз орындалатын дәстүрлі үдерістерден бастап жоғары қуатпен, электронды сәулемен және лазермен жүргізілетін жуырда пайда болған үдерістерге дейін барлық дәнекерлеу үдерістері ұсынылған. 3-бөлімде негізгі материалдың термиялық әсер аймағында (ТӨА) болатын барлық термиялық, металлургиялық және механикалық құбылыстар қарастырылады. Мұнда құрылымдары мен қасиеттерінде болатын барлық салдарлары ескерілген түрлену фазалары, сондай-ақ осы еңбектің тұрақты тақырыбы болып табылатын жарықтар, әсіресе суықтан болған жарықтар ұсынылған.

4-бөлімде, басқа жарық түрлері бар дәнекерлеу жігіндегі балқытылған металл мәселесі қарастырылуда.

Толтырғыштардың түрлері 5-бөлімде қарастырылады. Мұнда дәнекерлеу жігінің қасиеттерін және жарықтарға қатысты беріктігін жақсарту мақсатында осы толтырғыштарды жасау барысында қол жеткізілген оң нәтижелер туралы сөз қозғалады.

6 және 7-бөлімдер дәнекерленген құрылмаларға қызмет көрсету барысындағы проблемалар көрсетіледі, олардың біріншісінде материалдар, сондай-ақ дәнекерлеу жіктерін орындау үшін ұсынылған шешімдер берілген төзімділік зерттеледі, ал соңғысында соққы тұтқырлығын бағалаудың баяндалған әдістерімен және ақаулар зиянының эволюциясымен қатар шығыс материал құрамына, қоспа металдың сапасы мен дәнекерлеу жағдайларының маңыздылығына қатысты ұсыныстар берілген морт бұзылу зерттеледі.

Екінші тарау, 8-14-бөлімдер түрлі өнеркәсіп салаларында түрлі материалдарды дәнекерлеу үдерісінің қолданылуына арналған.

Ең алдымен, 8-бөлім автомобиль нарығында тиісті дәнекерлеу үдерістері қолданылып пайдаланылатын жалаң, сонымен қатар жабынды жұқа жайматабақтарды дәнекерлеуге арналған. Бөл бөлімде құрамында көміртек пайызы өте аз жаңа болаттардың маңыздылығы ерекше атап өтілді.

9-бөлім тақырыбы - балқытылған металл аз көлемде талап етілетін дәстүрлі емес үдерістерді қолданылатын автомобиль өнеркәсібінде болат механикалық компоненттерді дәнекерлеу.

Болат құрылмаларды дәнекерлеу 10-бөлімде талқыланады. Бұл бөлімде пайдаланылатын болаттар мен ақауларды болдырмау үшін қажетті қауіпсіздік шаралары сақталатын дәнекерлеу әдістері ұсынылған.

11-бөлім жоғары қысымды сыйымды ыдыстарды дәнекерлеуге арналған. Мұнда француз ядролық өнеркәсібіндегі су-сулы ракторлар (PWR) сияқты ірі компоненттердің үлгілері ұсынылған және дәнекерлеу мен жабын жасаудың түрлі үдерістері талданған.

Алдағы бөлімдердің көпшілігі көміртекті және төмен қоспаланған болаттарды дәнекерлеуге қатысты, сондықтан 12 және 13 бөлімдер қоспалардың басқа түрлеріне арналады. Алдымен, жарықтар мен бұзылулар сияқты туындай алатын проблемалар аталып, тот баспайтын болаттар мен түрлі топтарды (мартенситті, ферритті, аустенитті және аустен-ферритті болаттарды) дәнекерлеу үдерісі ұсынылған, сондай-ақ таңдалған үдерістерге сәйкес құралдар мен кеңестер берілген. Одан кейін қолданыстағы түрлі әдістердің пайдаланылуымен алюминий қоспаларын дәнекерлеу үдерісі, туындайтын проблемалар мен дәнекерлеу жіктерінің сапасы жақсы болуы үшін сақталатын ережелер ұсынылған.

14-бөлім сапаның жалпы ұйымдастырылуына және бұзбай бақылау стандартына байланысты дәнекерлеу саласындағы стандарттардың әзірленуіне арналады.

Біз осы еңбекке өз үлесін қосуға келісім берген барлық авторларға, әсіресе бұл салада жұмыс істейтіндерге, бос уақыттарында осы жиынтыққа дәнекерлеудің түрлі салаларындағы ноу-хау мен ағымдағы зерттеулерге қатысты өз үлесін қосуға әзір болған тұлғаларға алғыс білдіреміз.

Режис Блондо

1 тарау

Дәстүрлі дәнекерлеу үдерістері

1.1 Кіріспе

Дұрыс түсіндірілмеуін болдырмау мақсатында, осы мәтінде кездесетін терминдердің анықтамалары «Автогенді дәнекерлеу жарияланымдары және Халықаралық Француз Тілі Кеңесі» баспасының «Дәнекерлеудегі және оған қатысты техникалардағы терминдер мен негізгі түсініктердің анықтамалары» атты құжаттан алынды [COL 96].

Бұл кітаптың алғысөзінде дәнекерлеу жинақталатын компоненттер арасындағы *металл үздіксіздігін* қалпына келтіруге мүмкіндік береді деп айтылған. Металдың атомаралық байланыс күшін қалпына келтіру үдерісі мұндай қалпына келтіру түріне жатады, ол түйіндерде бір уақытта кристал торының қосылуы мен экран құра алатын бөтен заттың болмауын талап етеді.

Бұл бөлім металл байланыстарын жасау үшін қажетті физикалық жағдайларды, сондай-ақ осы байланысты орнатуға мүмкіндік беретін технологиялық үдерістерді бірізді қамтитын болады.

1.2 Металл байланысын жасауға қажетті жағдайлар

Металл байланысын жасау теориялық түрде байланысқан беттерді үстінгі атомдар өздерінің кристалл жүйесінің түйінаралық қашықтықта болатындай етіп, мейлінше жақын қашықтықта орналастыру ретінде анықталады.

Беттердің бастапқыдан химиялық таза және айнадай жылтырап тұруын көздейтін бұл операция іс жүзінде орындалмайтын болып табылады.

Бұл техникалық мүмкінсіздікті жою үшін байланыстың жасалуына кедергі келтіре алатын бөтен заттар мен элементтерді алып тастау мақсатында қосылатын беттер белсендендірілуі тиіс.

1.2.1 Бетті белсендендіру

Қорыту бетті белсендендірудің неғұрлым тиімді тәсілі болып табылады, ол сонымен қатар беттің тазартылуын да қамтамасыз ете алады. Металл байланыстары қатайту жолымен жасалады, олар үшін төмендегі рәсім түрлерін қолдануға болады:

а) екі қосылатын бөлік үстіртін қорытылады және сонымен механикалық әсерсіз қатаятын балқытылған металл пулының (мүмкін толтырғыштың қосылуымен) қалыптасуына себеп болады;

б) екі қосылатын бөлік үстіртін қорытылады, бірақ сыртқы механикалық әрекет балқытылған металды итеріп шығарады да, беттерді солидус температурасы кезінде түйістіре отырып, қосуды жүзеге асырады;

с) екі қосылатын бөлік жергіліктендіріліп қорытылады және қатайған кезде сырттан жасалатын қысымнан тығыздалатын балқытылған металдың біріктірілген өзегінің пайда болуына қатысады.

Беттерді белсендендіру сонымен қатар балқытусыз қыздыру жолымен жүзеге асырылады, ол, әдетте, кейін қосылатын беттердің тазартылуын қамтамасыз ететін және түйісуін жақсартатын механикалық әрекетпен толықтырылады, төмендегі түрлері бар:

а) қосылатын беттерді қыздыру және тазарту механикалық үйкеліс әсері салдарында (осьсимметриялық бөлшектердің қосылуын жобалайтын) бір уақытта жүзеге асырылатын

жағдай және соңғысы тоқтағасын ось қысымымен ұсақтау («Соғу») орындалады, сондай-ақ

б) қыздыру сыртынан жылытумен жүзеге асырылған және жақын түйіспе қосатын жазықтыққа перпендикулярлы болатын күш салумен қамтамасыз етілетін жағдайда.

Нәтижесінде белсендендіру қосылатын бөлшектерді толық қыздырмай механикалық әсер салдары да болуы мүмкін. Бұл механикалық әрекет әр беттің сыртқы қабатының пластификациясын тудырады және нәтижесінде металл байланысына әкелетін шоғырланған жергілікті қыздыруды түрлендіреді. Бұл үдерісте қосылатын беттерді біріктіретін жазықтыққа параллельді түрде осы жазықтыққа перпендикулярлы болып келетін қысу күшімен қатар бір уақытта жасалатын қатыстық жылжытуды жүзеге асыру қажет. Бетті мұқият дайындау керек және/немесе соңғылардың қатыстық жылжуы оларды ластайтын бұйымдардың бракталуына әкелетініне көз жеткізу қажет.

1.2.2. Қосылыстарды жасаған кезде кедергілерді жою

Металл байланыстарын жасаған кездегі кедергілердің түрлері саналуан болуы мүмкін:

- беттің геометриялық кедір-бұдырлылығы,
- беттің ластануы (тотықтар, жақпа, ылғал және т.б.),
- қоршаған орта ауасынан келіп түсетін химиялық элементтер.

Беттің кедір-бұдырлылығы қосылатын бөлшектердің беттері бірікпеген жағдайлардың барлығында металл байланыстарының жасалуына кедергі келтіретін болады. Мұндай жағдайларда бетті механикалық құралдарды пайдаланып (тегістеу, механикалық өңдеу және т.б.), дайындау қажет.

Қосылатын беттердің барлық ластанулары механикалық әсер арқылы (құм ағынды тазарту, үйкелеу) немесе химиялық құралдармен (еріткіштер, үйкелеп өшіру, кептіру және т.б.) жойылуы тиіс.

Қоршаған орта ауасымен енгізілген химиялық элементтердің мүмкіндікті әсерін жою қажет. Дәнекерлеу жұмыстары, әдетте, оттектен, азот және сутек (ауа ылғалындағы) ерекше зиянды бола алатын ашық атмосфералық жағдайларда орындалады.

Оттектен доғамен буланатын элементтермен реакцияға түсе алады және сонымен дәнекерлеу түтінін тудыра алады. Сонымен қатар, ол балқытылған металда еріп, қатайған кезде төмендегінің пайда болуына себеп бола алады:

- қатайған металда сеппелерді тудыратын металл тотықтары;
- салқындау мен қатаюды тудыратын ерігіштігінің азаюынан болатын балқытылған металдың кеуектілігі. Мұндай кеуектіліктің пайда болуы металл құрамындағы элементпен болатын реакциямен күрделенуі мүмкін және газды қосылыстың пайда болуына әкеле алады (мысалы, болат атмосферадан қорғалмай дәнекерленген кезде СО пайда болуы мен бөлінуі).

Ауадағы оттектен қорғау бейтарап газды, балқытылған қожды орналастырумен немесе тотықтар түріндегі бекітулер арқылы, оттектен ашыққан элементтерді (әсіресе кремнийді) қосу жолымен қамтамасыз етілуі мүмкін. Балқытылған металға тым жақын болғанда шығыс металдың беті оттектен байланысып, тотықтармен жабылуы мүмкін, бұл қорғау шараларын, соның ішінде дәнекерлеу жігінің артқы жағында, пайдалану үшін тағы бір негіз болып табылады.

Азот балқытылған металда ери алады және төмендегі жағдайларға:

- немесе салқындау мен қатаюды тудыратын ерігіштігінің азаюынан болатын балқытылған металл кеуектілігінің пайда болуына;
- немесе өздері пайда болатын жағдайларда шамалап қатаю және босату қасиеттеріне ие сеппелерді немесе шөгінділерді тудыратын металл нитридтерінің қалыптасуына;
- немесе қатты күйінде қалатын бөлшекке қатысты ескіру себебі бойынша осалдану үдерісіне себеп бола алады.

Азоттан қорғау бейтарап газды немесе балқытылған қожды енгізу арқылы қамтамасыз етілуі мүмкін.

Сутек балқытылған металда ериді және оның қоюлануы жоғары деңгейге жетуі мүмкін, оның болуын шектеу үшін қауіпсіздік шараларын қабылдамаса, қаныққан күйге де жете алады. Температура түскен кезде ерігіштігі азаятын сутек төмендегілердің:

- қатайған кезде кеуектіліктің пайда болуына;
- асыра қаныққанда ол газ молекулалары түрінде иілгіштігі аз металдың құрылымдық

ақауларында жиналған кезде қатты күйінде жарылуына себеп бола алады.

Сутектен қорғау ең алдымен атомарлы немесе ионды сутектің плазмалы доға құрамында болуын азайту арқылы оның балқытылған металға енгізілуін шектеуге негізделеді. Ол үшін қоршаған ауадағы судың құрамын азайту (ылғалды атмосферада дәнекерлеуді жасамау), сутек құрамы төмен газды қоршаған ауа мен доға арасына жіберу, суды жеткізуші қосылыстарды (гидрототықтарды, конденсатты, майлағыштарды, негізгі кеппеген жақпаларды, флюстерді және т.б.) және басқа да сутек көздерін (целлюлозалы немесе рутилді жабындар мен майлағыштарды) жою қажет.

1.2.3 Біз түрлі дәнекерлеу үдерістерін қалай жіктей аламыз?

Бұл кезеңде біз белсендендіру әдістері мен атмосферадан қорғау құралдарына сәйкес үдерістерді жіктеу жүйесін құрастыруымыз қажет (1.1-кестені қараңыз).

Белсендендіру	Қосымша әрекет	Қорғау
балқыту	жоқ	міндетті
	қысу	міндетті емес
қыздыру	қысу	мүмкін
үйкеліс	қысу	жоқ

1.1-кесте. Дәнекерлеу үдерістерінің белсендендіру тәсілдері мен атмосферадан қорғау құралдары бойынша жіктелуі

Шынында да, жоғарыда көрсетілген дәнекерлеу үдерістерін неғұрлым қолайлы критерийлер бойынша жіктеуге болады, мысалы:

- қолданылатын қуат көздері: алау, электр доғасы, плазма, Джоуль әсері, ұшқын, индукция, үйкеліс, жарылыс және т.б.;
- ыстық металды қорғау тәсілдері: газ немесе қож.

1.3 Өнеркәсіптік дәнекерлеу үдерістері

Өнеркәсіптік дәнекерлеу үдерістері жоғарыда белгіленген критерийлерге сәйкес төменде баяндалатын болады, атап айтқанда:

- механикалық әрекеттерсіз балқыту жүзеге асырылатын үдерістер;
 - механикалық әрекетпен сабақтасып балқыту жүзеге асырылатын үдерістер;
 - қыздыру балқытусыз, бірақ механикалық әрекет арқылы жүзеге асырылатын үдерістер;
 - механикалық әрекет қыздырусыз жүзеге асырылатын үдерістер.
- Өнеркәсіптік тәжірибе түрі бойынша жіктеу осы бөлімнің соңында ұсынылатын болады.

1.3.1 Механикалық әсерді қолданбай компоненттерді жергілікті балқыту үдерістері

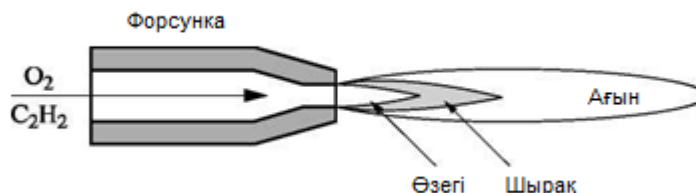
Ерікті механикалық әрекеттерсіз жүзеге асырылатын дәнекерлеу үдерістері үшін қосылатын бөлшектерді жергілікті балқыту қолданыстағы қыздыру тәсілін балқытылған металды қоршаған орта ауасының химиялық әсерінен қорғау тәсілінен ажырату жолымен сипатталуы мүмкін. Сонымен, төмендегілерді атап өтуге болады:

- алау немесе газды дәнекерлеу;
- плазмалы дәнекерлеу;
- имектеп дәнекерлеу;
- тігінен жасалатын электрқожды дәнекерлеу;
- алюминтермиялық дәнекерлеу.

Осы үдерістердің барлығында балқытылған металдың дәнекерлеу ваннасы қосылатын жазықтықта түйіскен жиналатын бөлшектер пішіні бойынша қалыптасқан балқыту отбақырында ұсталатынын атап өткен жөн (кейде «отбақырдың» толық жабылуы қақпақшалар, слайдтар, баспақалып сияқты арнайы құрал-саймандармен қамтамасыз

етіледі). Бөлшектердің балқытылмаған секциясы балқытылған металға тым жақын жерде оның соңғысынан есептелетін қашықтығына сәйкес металл солидусы температурасы мен бөлшектердің бастапқы температурасы арасындағы температураларға дейін осылай жеткізіледі. Құрылымы, тиісінше қасиеттері де осы қыздыру себебінен өзгертін осы көлемнің бір бөлігі (балқытылған металға ең жақыны) термиялық әсер аймағы (ТӨА) деп аталады.

1.3.1.1 Газалаумен дәнекерлеу



1.1-сурет. Дәнекерлеуіш шамы арқылы балқытылған негізгі металдар мен қоспаланған металдар

Негізгі металдар мен толтырғышты балқыту дәнекерлеуіш лампамен қыздыру арқылы жүзеге асырылады (1.1-сурет), бұл бізге жандырғыш заттеппен (әдетте оттек) газды (жиі ацетиленді, сутекті, пропанды) жағу жолымен тиімді алау (диаметрі шамамен 5-10 см құрайтын [РҮК 74] қыздыру нүктесіндегі рейтингі шамамен 100-300 Вт/см² болатын ацетилді отын) тудыру мүмкіндігін береді.

Бұл алау әрқайсысының белгілі рөлі бар екі аймақтан тұрады:

- беті бастапқы жану орны болып табылатын дәнекерлеуіш лампа бүріккішінің дәл шығысындағы конус (ацетилен пайдаланылған жағдайда сутек пен көміртек тотығын шығарады). Конус ұшындағы температура өте жоғары болады (ацетилен пайдаланылғанда ол 3000°C асады) және атмосфера төмендейді;

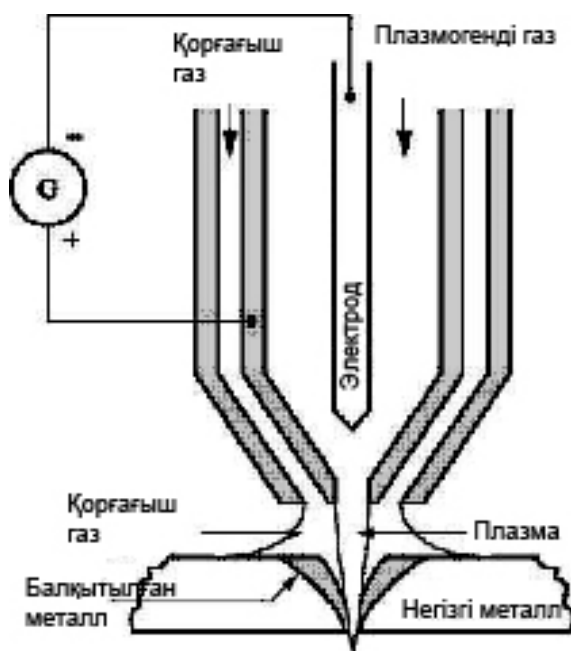
- жану аяқталатын бүріккіш. Тұтыну коэффициентін, атап айтқанда γ коэффициентін = оттек көлемін ацетилен көлеміне реттеуге сәйкес бұл бүріккіш тотықтырғыш, бейтарап немесе төмендеткіш (және сонымен болаттарға қатысты көміртектендіруші) бола алады. Дәнекерлеу кезінде бейтарап алау $1 \leq \gamma \leq 1.2$ сәйкес пайдаланылады. Дәнекерлеуіш лампа арқылы реттеу бүріккіш диаметрімен реттелетін ацетилен ағынын реттеу жолымен жүзеге асырылады. Бүріккіштің сағатына 63 л кезінде 10-нан басталып сағатына 4000 л кезінде 1000-ға дейін жететін ацетилен ағындарын тудыратын төрт өлшемі бар. Оттек ағыны тиісінше реттеледі. Ацетилен осы ағыны таңдалған кезде дәнекерленетін металл, оның қалыңдығы, қосылу түрі мен дәнекерлеу қалпы ескеріледі.

Құрамы дәнекерленетін металмен бірдей келетін және қадалар (диаметрі 1,6-дан 5 мм дейін) түрінде жеткізілетін қоспа металды қосуға болады.

Сонымен, дәнекерлеуіш лампа қол жеткізілген температуралар арқасында металдарды балқытуға мүмкіндік береді және өз атмосферасына қатысты балқытылған металдың қоршаған орта ауасындағы газдармен болатын кез келген химиялық реакциялардан қорғалуын қамтамасыз етеді.

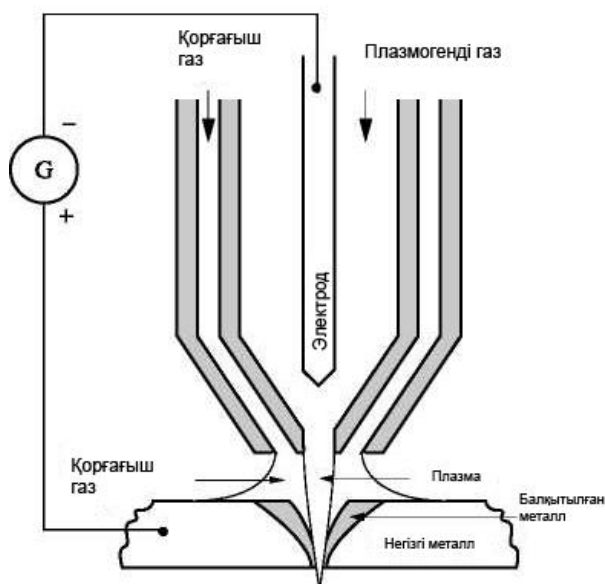
Бірақ тотығуға қатысты сезгіштігі өте жоғары металдармен (алюминий, тот баспайтын болат, мыс қорытпалары) бетінде пайда болған тотықтарды жою үшін флюсті (шеттері созылған, дәнекерлеуге жататын немесе қадамен біріктірілген флюсті) пайдалану қажет.

1.3.1.2 Плазмалы дәнекерлеу



1.2-сурет. Тасымалсыз жасалған плазмалы дәнекерлеу

Балқыту плазмалы ағынды пайдалана отырып, қыздыру жолымен жүзеге асырылады. Бұл плазма коаксиалды бүріккіш пен баяу балқытын электрод арасында пайда болған шеңбер тәрізді кеңістікте жасалған электр доғасынан белгілі плазмақұраушы газдың (рұқсат етілетін көлемде сутек немесе гелий қосылған аргонның) өтуі арқылы түрленеді (1.2-сурет). Әдетте тұрақты тоқтағы баяу балқытын электрод электрон бөлшектерімен сәулелену кезінде оның бұзылуын болдырмау үшін теріс мәнді болып табылады. Доғадағы иондалған бөлшектер ағынындағы рекомбинация үлкен энергияны босатып шығарады және нәтижесінде 10000°C артатын температураны елеулі түрде жоғарылатады. Үлестік қуаттылық диаметрі бірнеше миллиметрден бірнеше сантиметрге дейін ауытқып отыратын [РҮК 74] қыздыру орнында 500-ден 10000 Вт/см^2 дейін өзгеруі мүмкін. Перифериялы түтік балқытылған металды қорғау үшін оқшау газдың (әдетте аргонның немесе аргон + сутек қоспасының) үлестірілуін қамтамасыз етеді. Тура полярлық доғасы немесе үлкейткіш доға деп аталатын бұл үдеріс қатыстық жұқа компоненттерді жинақтауға арналған.



1.3-сурет. Тікелей әрекет ететін доғамен жасалатын плазмалы дәнекерлеу

Жылу жіберу және тиісінше жылу ПӘК баяу балқытылатын электрод пен жинақталатын бөлшектер арасындағы доғаны жағу арқылы жақсарады. Доға бүріккіш пен баяу балқытылатын электрод арасында пайда болатын қосалқы доғамен одан әрі жалғастырылады (1.3-сурет). Бұл үдерістің атауы - тура әрекет ететін доғамен жасалатын плазмалы дәнекерлеу. Бұл үдеріс дәнекерлеуде неғұрлым жиі пайдаланылады. Ол жиі құлып оймасы үдерісін пайдаланумен неғұрлым тығыз бұйымдарды (негізгі металл қасиеттеріне байланысты ауыспалы шекпен болса да, бірақ сантиметрлік тәртіппен) жинақтауға мүмкіндік береді; плазмалы ағын дәнекерлеу ваннасын артқа итеріп, қатаю жүзеге асырылатын қосылыстан асып түседі (сонымен, дәнекерленетін беттердің жиектері тік болуы мүмкін). Осылай толық ену қамтамасыз етіледі және ретке келтіріледі. Дәнекерлеу жігінің артқы жағында тіректің пайдаланылуы, әдетте, қажетті болып табылмайды, өйткені балқыту аймақтары тар болып келеді (бірақ бұл артқы жағынан газбен қорғау қажеттілігін жоймайды). Бірақ бұл үдеріс толтырғышты өткізу үшін қолайлы емес. Ол әдетте палубалы дәнекерлеу үшін, сондай-ақ көлденең/тігінен дәнекерлеу үшін пайдаланылады. Толтырғыш сым түрінде енгізілуі мүмкін. Металл қалтқысының жылдамдығын арттыру үшін ыстық сым әдісін пайдалану ыңғайлы келеді. Бірақ толтырғыш қорғаушы газ ағынына ұнтақ түрінде (плазма ағынының айналасында) енгізілуі де мүмкін.

Доғадағы және плазма құраушы газ ағынындағы электр қуаты импульстерінің бірізді түрленуі тігінен дәнекерлеу үдерісін жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Мұндай үдеріс барлық параметрлердің компьютерлендірілген бақылауын талап етеді.

1.3.1.3 Доғалы дәнекерлеу

Балқытылған дәнекерлеу ваннасын қалыптастыру үшін пайдаланылатын жылу тұрақты немесе ауыспалы тоқ негізінде жұмыс істейтін электр доғасымен қамтамасыз етіледі. Оның үлестік қуаттылығы диаметрі бірнеше миллиметрден бірнеше сантиметрге дейін ауысып отыратын [RYK 74] қыздыру орнында 103-тен 105 Вт/см² дейін ауытқуы мүмкін.

Доға жеңіл түрленіп, одан әрі орнықты жануы тиіс. Оның түрленуін қамтамасыз ету үшін (ол бізге тұрақты режимдегі доға кернеуімен салыстырғанда аса жоғары бастапқы кернеуді пайдаланбауға мүмкіндік береді), сондай-ақ оны тұрақтандыру үшін біз плазмалы доғаға енгізілетін тез иондалатын химиялық элементтерді пайдаланамыз. Бұл элементтер қатты бұйымдар құрамындағы қожға айналатын тез балқытылатын және ұшпа қосылыстардан немесе балқытылған металды қорғау кезінде қолданылатын газдардан туындай алады. Сонымен қатар, қуаттану көзі төмендегідей :

- жүктелмеген кернеу доғаның түрленуі үшін мейлінше жоғары болатындай,
- қалыпты жұмыс кернеуі пайдаланылатын технологияға сәйкес келетін доға ұзындығына қол жеткізе алатындай,
- доға өшкен кездегі кернеу доғаны қалпына келтіру үшін жеткілікті болатындай бейімделуі тиіс.

Ауыспалы немесе тұрақты тоқта полярлықты таңдаған жағдайда катодта және анодта болатын түрлі құбылыстарды ескерген жөн. Расында да, электронды эмиссия катодта болады және әсіресе катод жоғары температураға дейін қыздырылған кезде жүзеге асырылады. Бірақ, егер оның қызуы Джоульдің тікелей әсері мен оң мәнді иондармен сәулеленуі салдарынан ішінара болатын болса, бұл ең алдымен катодтың ауыспалы аймағында туындайтын Джоуль әсерінен болатын жылу рөліне байланысты. Бұл соңғы жағдай талап етілетін тоқ нәліктен катод диаметріне тәуелді екенін түсіндіреді: катодты жеткілікті температура деңгейінде ұстау үшін ол көбірек болғанымен тоқ жоғары болуы тиіс.

Электрондар анодты сәулелендіреді және сонымен кейін анодтың ауыспалы аймағындағы Джоуль әсерімен жоғарылатылған елеулі қыздыруды тудырады.

Егер доға тұрақты тоқты пайдаланса, анодтық аймақтың катодтық аймақтан көбірек қызатынын ескере отырып, полярлықты таңдау әсіресе үдеріске және дәнекерленетін металға байланысты болады. Ауыспалы тоқ көзі доғаның екі шетінде бұл құбылысты ауыстырып отыруға мүмкіндік береді.

Толтырғыш жұмсалатын электродтан болса, доғада бұл металл доғаның электрлік режиміне байланысты үш түрлі тәсілмен тасымалдануы мүмкін. Үлкен тоқтар кезінде тасымалдау ұнтақтау жолымен жүзеге асырылады, яғни дәнекерлеу ваннасына электрлік өріспен мәжбүрлі түрде проекцияланатын шағын тамшылар түрінде жүзеге асырылады.

Біркелкі тоқтар кезінде тасымалдау ірі тамшылар түрінде жүзеге асырылады, олар балқытылған металға түсер алдында сәл күш жұмсалып дұрыс емес жолмен немесе мүмкін бір жаққа қарай шығып түседі, бұл әдетте дәнекерлеу параметрлерінің нашар реттелуі белгісі болып табылады. Ең төмен тоқтар кезінде тасымалдау қысқа тұйықталу бойынша жүзеге асырылады. Тамшыны электрод бетінен айыру үшін магнитдинамикалық әсер жеткіліксіз (тоқ тым аз): тамшы балқытылған металмен түйісу деңгейіне дейін ұлғаяды. Одан кейін қысқа тұйықталу балқытылған металға түскен тамшыны ажырататын тоқ өзгерісін тудырады.

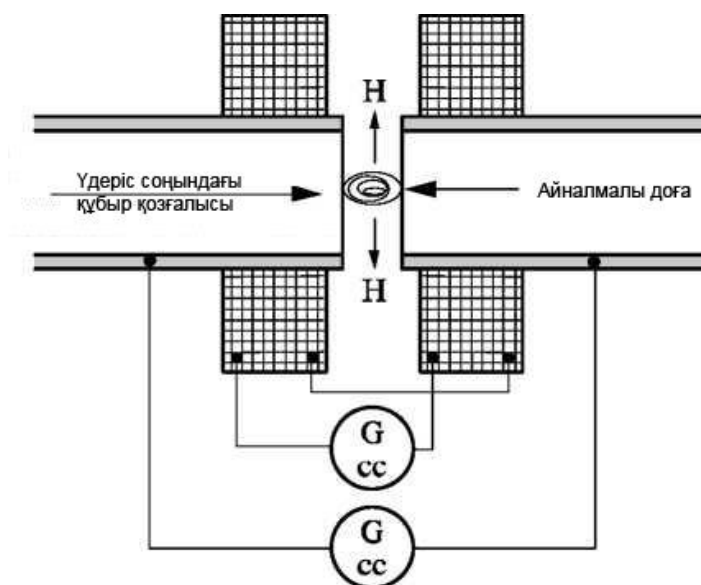
Балқытылған металлдың қорғалуын қамтамасыз ететін өнімдер үдеріске байланысты:

- үстінде қалқитын қожға айналып (және құрамын тазарту үшін онымен химиялық реакцияға түсетін) тез балқитын қосылыстар;

- жиі кездесетін оқшау газдар (аргон, гелий немесе қоспалар, кейде сутектің қосылуымен), кейде көміртекті газдың қосылуымен (оның доғадағы ыдырауы көміртек пен оттектің қорғағыш тотығын тудырады, олар толтырғыш өнімдерімен енгізілген элементтермен бекітілетін болады) бола алады.

Бұл мәселеге қатысты көптеген үдерістер әзірленді, оларды доға жанатын (екі қосылатын бөлшек арасында немесе осы компоненттер мен электрод арасында) жағдайларға сәйкес жіктеуге болады және оларды дәнекерленген бұйымдар қолданылатын жағдайларға сәйкес бөліп шығаруға болады.

Полярлығы қарама-қарсы индуктивтілік орауыштары



1.4-сурет. Құбырлардағы айнапмалы доғалы дәнекерлеу

а) екі қосылатын бөлшек арасында жағылған доға

Магнитті өріс тудыратын қысыммен жасалатын доғалы дәнекерлеу

Доға оңтайлы бағытталады және бақыланатын тұрақты магнитті өріс әсерімен қосылатын беттер арасында жағылады және тасымалданады. Бетті қорытқаннан кейін қосылатын бөліктер бірге баспақталады (осылай жік жасалады). Бұл үдерістің баламасы түтікті айнала қоршайтын және екі антагонистикалық магнитті өрісті тудыратын екі орауышты пайдалана отырып, түтікті құрылмаларға қатысты қолданылады (1.4-сурет). Қалыптасатын өріс радиалды болып келеді: ол сонысымен қосылатын жазықтықтарда доғаның айналуын тудырады. Бұл айнапмалы доғалы дәнекерлеу деп аталады.

Қадаларды доғалы дәнекерлеу

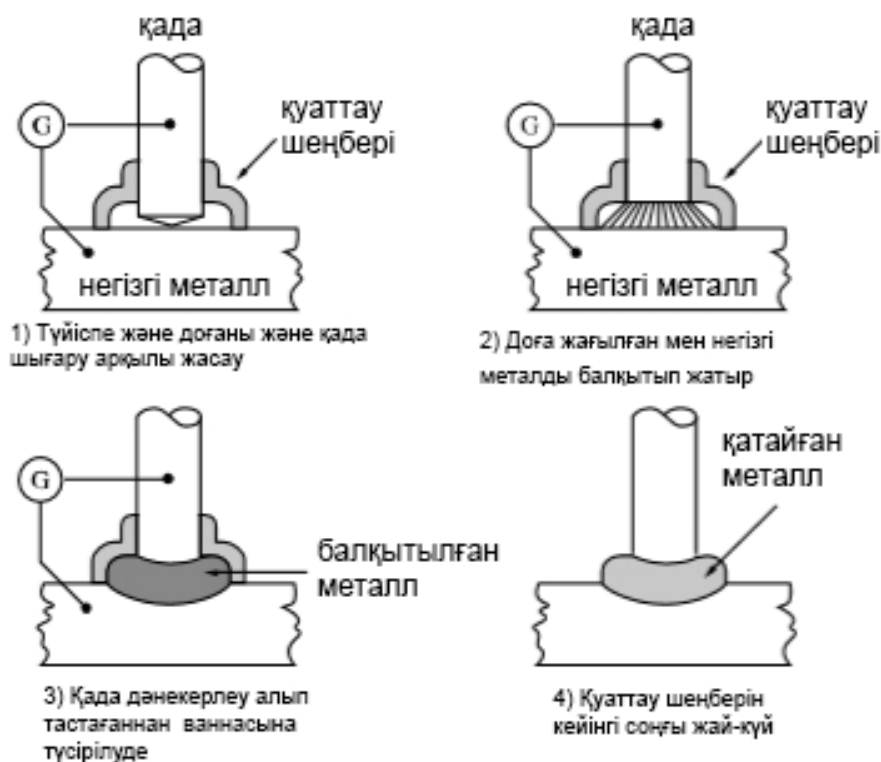
Доға қада шеті мен тіректің мақсатты аймағы арасында қалыптасады. Қаданың шеті қорытылып, қада бекітілетін тірек бетінде балқытылған ванна жасалғаннан кейін қада балқытылған металға түсіріледі және толық қатайғанша бір қалыпта ұсталады. Қуаттау блогы мен қаданың жылжып кетпеуі (түйіспе, доғаны жағуға арналған бұрғыш, техникалық қызмет көрсету, одан кейін түсіру – 1.5-сурет) автоматты түрде бақыланады. Балқытылған металдың қорғалуы, әдетте, қорғаушы қуаттау шеңберін тұрғыландыру арқылы жүзеге асырылады, ол балқытылған металдың қатайған кездегі «баспақталуын» қамтамасыз етеді. Қуаттау көзі

тұрақты тоқтың разрядталуынан немесе конденсатордан туындайды: доға ағынының қарқындылығы қада диаметріне сәйкес түзетіледі.

б) доға тез жанатын электрод пен қосылатын компоненттер арасында жағылған

Жалпы алғанда, бұл үдеріс әр операция сайын балқытылған металдың белгілі көлемінің қорытпасын тудыру мүмкіндігін береді, оның көлемі үдеріс түріне және қолданылатын қуатқа қатысты болады. Бұл тығыз компоненттер арасында толық жік қалыптастыру үшін жеткіліксіз болуы мүмкін: мұндай жағдайда бірнеше операция, яғни бірнеше өтпелер жасау қажет. Мұндай жағдай көбінесе дұрыс дәнекерлеу жігінің жасалуын қамтамасыз ететін жиектердің дайындалуын орындауды талап етеді (электродқа қолжетімділік, жинақтау түрі, қалпы, енуі, мүмкіндігінше пішін өзгерістерінің алдын алу және т.б.). Осы әзірлемелердің пішіндері мен өлшемдері болады, олар ең алдымен негізгі металл қасиетіне және қолданылатын үдеріске байланысты өзгеріп отырады. Негізгі түрлері төмендегідей:

– жиектері арасындағы рұқсат етілетін қашықтықпен (қашықтық қалыңдыққа қатысты ұлғаяды) қалыңдығы шектелген жинақталатын түйіндер үшін тік жиекті (1.6а-сурет). Енуді қамтамасыз ету үшін артқы жағында өтпені жүзеге асыру қажет шығар, бірақ артынан тіреуді пайдалануға да болады;



1.5-сурет. Қаданы доғалы дәнекерлеу

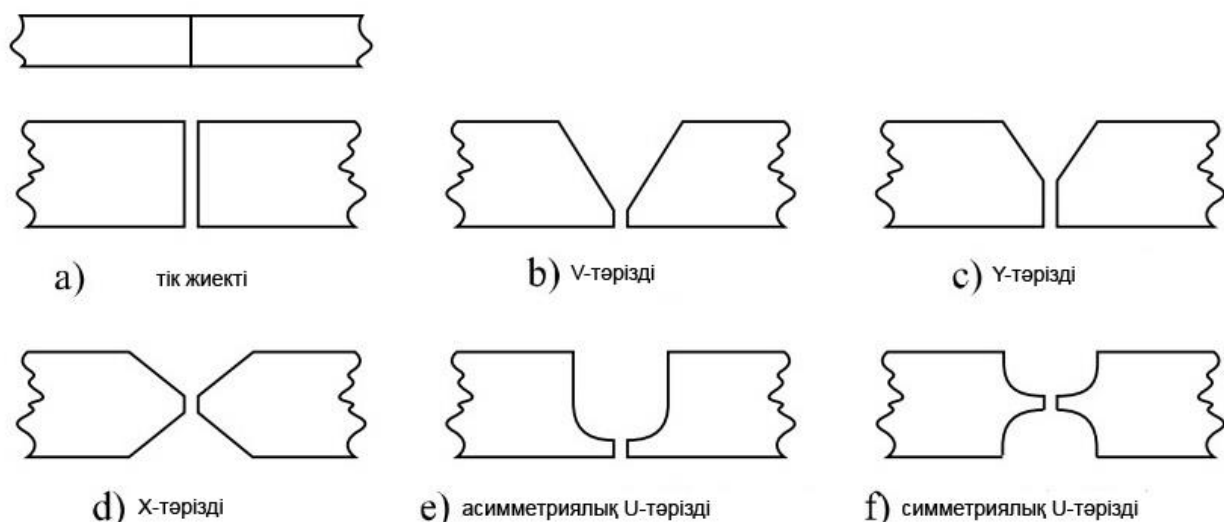
– V-тәрізді фаска (1.6б-сурет) немесе Y-тәрізді (1.6в-сурет) өкшелігі мен жиектер арасында рұқсат етілетін кеңістігі бар. Бөлшектеудің бұл түрі елеулі ауытқуларды тудыратындықтан тығыз компоненттер үшін пайдаланылмайды;

– X-тәрізді (1.6г-сурет) өкшелігі мен жиектер арасында рұқсат етілетін кеңістігі бар. Бөлшектеудің бұл түрі екі жаққа қолжетімділікті талап етеді, бірақ ауытқуларды шектейді;

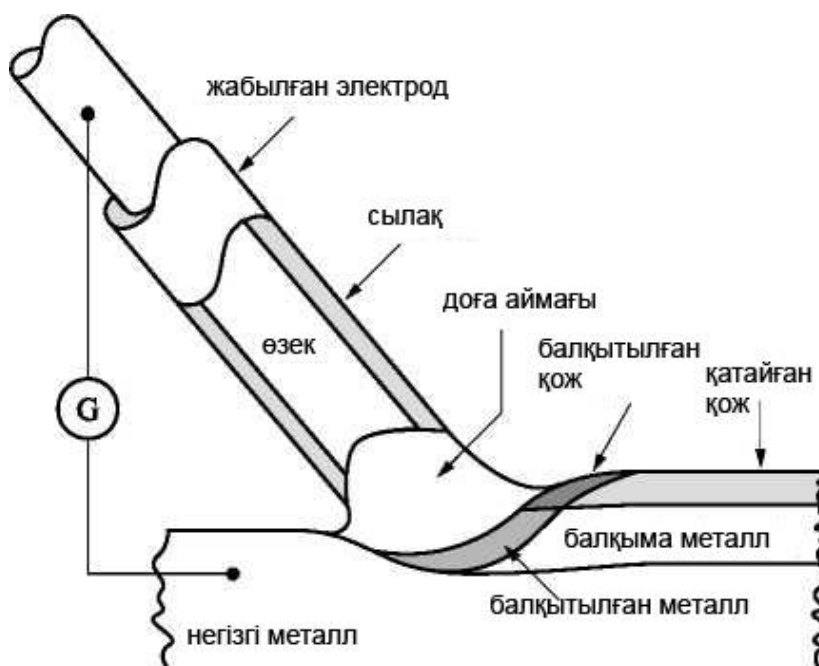
– асимметриялық U-тәрізді (1.6д-сурет) немесе одан да жақсы симметриялық (1.6е-сурет), егер екі жақтан да қолжетімділік болса (өкшелігі мен жиектер арасында рұқсат етілетін кеңістігі бар). Бөлшектеудің бұл түрі қажетті балқытылған металл көлемін азайтуға мүмкіндік береді.

Кейде белгілі бір, жартылай-V-тәрізді пішінді, жартылай-U-тәрізді пішінді (сонымен қатар J ретінде белгілі), K-тәрізді пішінді және т.б. бөлшектеулер пайдаланылады.

Сипатталатын үдерістер «жыртылай автоматты» болып танылған, мұнда электродты немесе жанарғыны дәнекерлеуші басқарады және «автоматты», мұнда олар орнатылып, автоматты құрылғылармен басқарылады.



1.6-сурет. Жиектерді бөлшектеу



1.7-сурет. Жабылған электрод пайдаланылған доғалы дәнекерлеу

Жабылған электрод пайдаланылған доғалы дәнекерлеу

Электродэлектр өткізгіш қызметін атқаратын және қоспа металды жабдықтайтын (диаметрі 1 мм-ден 10 мм-ге дейін ауытқып отыратын, ал ұзындығы 450 мм дейін баратын) металл өзегінен, сондай-ақ қорғаушы қож тудыратын бұйымдардан және доға плазмасында оның тұрақтануы үшін ұшып кететін басқа заттектерден және мүмкін балқытылған дәнекерлеу ваннасының қалыптасуына себеп болатын металл бөлшектерінен құралатын желімді жабыннан тұрады (1.7-сурет).

Төмендегі сылақ түрлері кең тараған:

- целлюлозалы: аз қож тудырады, бірақ оның жануы CO_2 бөліп шығарады және ерітілген сутек арқылы балқытылған металдың қанығуына себеп болады;

- рутил: титан тотығы негізгі компонент болып табылады. Балқытылған металл құрамындағы күкіртті жоюға ықпал етеді. Пайдаланылатын тұтқыр заттектер сутекті бөліп шығарады;

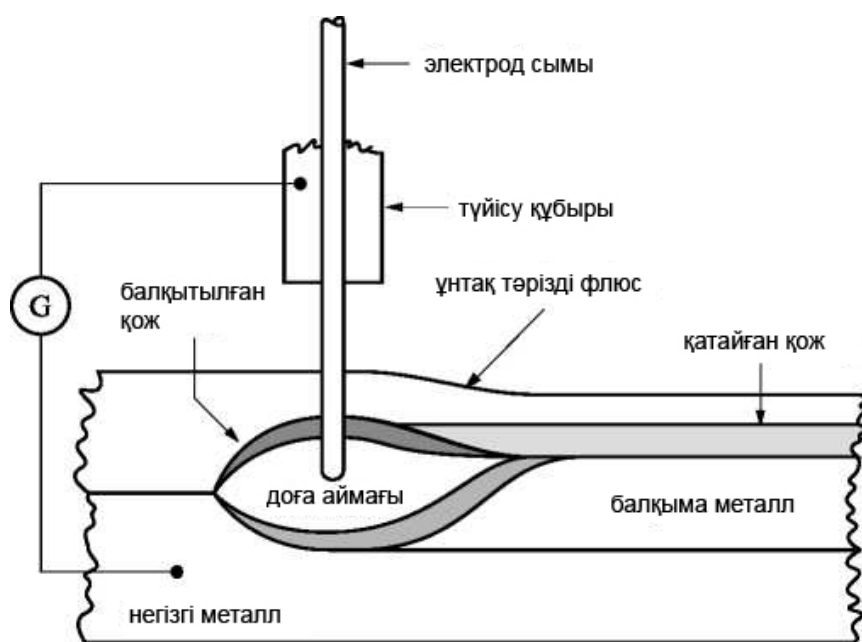
- негізгі (болатты дәнекерлеу кезінде пайдаланылатын электродтар): кальций

карбонаты негізгі компонент болып табылады. Ол сутекті аз бөледі, бірақ ол гигроскопты болып келеді, сондықтан электродтардың дұрыс қыздырылуын (шамамен 300°C), одан кейін пайдаланар алдында қорғалуын (мысалы, оларды шамамен 100°C температурасында ұстай отырып) талап етеді.

Сонымен қатар негізгі-рутилді араласқан сылақтар (күкіртті жақсы жояды) немесе рутил-целлюлозалы сылақтар (жақсы енеді), сондай-ақ қосылатын металл көлемін ұлғайту үшін (шығыс қуаттылығы жоғары электродтар) немесе қоспалау элементтерін енгізу үшін құрамында металл ұнтағы бар сылақтар ұсынылады.

Өзекті қоспа қылып шығару мұндай сылақтан сәл бұрынырақ жасалады; ол толтырғыштың балқытылған металлға тасымалдануын бағыттайтын ойықты құрайды. Бұл тасымалдау ірі тамшылар түрінде (целлюлозалы немесе негізгі сылақтар) немесе ұнтақтау жолымен (рутилді сылақтар) жүзеге асырылады.

Көп жағдайларда доға тұрақты тоқты тудыра алады (полярилық одан әрі негізгі металл, сылақ қасиеттеріне және дәнекерлеу қалпына сәйкес таңдалады), бірақ кейде ауыспалы тоқты пайдалануға болады (әсіресе болатты дәнекерлеу үшін). Тоқ қарқындылығы әдетте өндіруші ұсынатын электрод диаметріне байланысты таңдалады.



1.8-сурет. Ұнтақты флюспен доғалы дәнекерлеу

Дәнекерлеу тәжірибеде барлық қалыптарда жүзеге асырылуы мүмкін, олардың әрқайсысы белгілі баптауды және тиісті дайындықты талап етеді.

Ұнтақты флюспен доғалы дәнекерлеу

Электрод тұтас сым (диаметрі шамамен 2 мм-ден 10 мм-ге дейін болады) болып табылады, оның қуатталуы электр қуат беруді қамтамасыз ететін түйісу түтікпен жабдықталған жанарғы арқылы автоматты құрылғымен жүзеге асырылады. Жанарғы алдында (дәнекерлеу үдерісінің бағытымен салыстырғанда) бүріккіш, оның ішінде доға жағылатын болады, ол ұнтақ тәрізді флюсді үлестіреді, оның бір бөлігі қорғаушы қож болып табылады, ал қалған бөлігі салқындауды тежейтін және кейінірек қалпына келтірілетін балқытылмаған флюс қабатымен дәнекерлеу аймағын жабатын болады. Доға көрінбейді, сондықтан бұл жанарғыны жылжытуға қатысты нақты әрекеттің жасалуын талап етеді.

Бұл үдеріс (1.8-сурет) жоғары тоқты және жоғары нәтижелі дәнекерлеуді орындауға мүмкіндік береді. Бірақ, әдетте, еру елеулі түрде шамамен 2/3 болады және дәнекерлеу тоғы ұлғайған сайын күшейе түседі.

Доға тұрақты тоқ пайдаланылып жағылады, мұнда дәнекерлеудің қарқындылығы 1000 А артық болмайды, терең ену талап етілсе, полярилық тура болуы мүмкін (сым теріс мәнді) немесе керісінше дәнекерлеудің жоғары жылдамдығы мен еруді азайту талап етілсе, полярилық кері (сым оң мәнді) бола алады. Жоғарылатылған тоқтар кезінде кейде ауыспалы тоқты пайдаланған жеңіл болады, бұл магнитті доғалық үрлеудің әсерін азайтуға мүмкіндік

береді.

Сымды электрод ұзындығы бойындағы Джоуль әсері түйісу түтігі мен доға арасында қоспа металды (ұзындыққа және тоққа байланысты көбірек) қыздырады және оның балқытылуын жеңілдетеді, сонымен дәнекерлеу ваннасындағы қоспа металл көлемін ұлғайтады.

Пайдаланылатын флюстер калибрленген түйіршік түрінде жеткізілетін минералды қосылыстар қоспасы (әсіресе кремний-марганецті немесе силико-алюмо-кальций қосылыстар) болып табылады. Екі негізгі өндірістік үдеріс оларға түрлі қасиеттер береді:

- балқытылған флюстер балқыту, баспақтау, одан кейін ұнтақтау жолымен минералдардан жасалады. Сонымен олар құрылымы бойынша шыны және/немесе кристалл тәрізді болып келеді және кеуекті де бола алады;

- агломератталған флюстер агломератталған немесе пісіп қалған (тұтқыр заттеппен) табиғи минералдан жасалады. Бұл флюстер суды адсорбциялай алады немесе сіңіре алады, сондықтан сутектің қосылуын болдырмау үшін қауіпсіздік шараларын қолдану қажет.

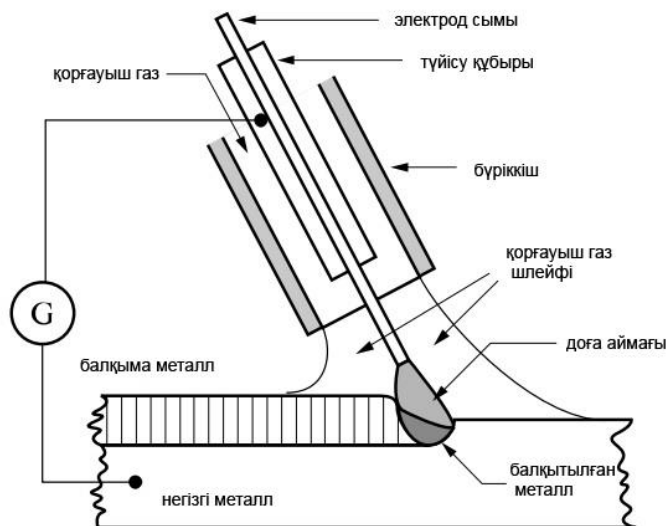
Жалпы алғанда, дәнекерлеу өнімін өндірушілер флюс пен қоспа металды сабақтастырады. Әр комбинация әдетте балқытылған металға ерекше қасиеттер бере алады.

Дәнекерлеудің осы үдерісі флюсті қолдану әдісі арқасында палубалы дәнекерлеуді (мүмкін арнайы тіреуді бұрыштап пайдаланумен) ғана орындауға мүмкіндік береді. Ол елеулі қалыңдықты (негізгі металға байланысты) жиектер арасындағы кеңістікпен тік жиектің түйіспе дәнекерлеуін орындауға мүмкіндік береді, өте тығыз компоненттерді дәнекерлеу үшін артқы жақта өтпе (-лерді) орындау мүмкіндігін ескере отырып, бөлшектеу талап етіледі:

- қолжетімділік жоқ: өкшелігі, артында кеңістігі мен тіреуі бар V-тәрізді бөлшектеу немесе жауқазын түріндегі немесе өкшелігі бар U-тәрізді бөлшектеу;

- қолжетімділік: өкшелігі мен кеңістігі бар X-тәрізді немесе өкшелігі бар K-тәрізді бөлшектеу.

Сонымен қатар, дәнекерлеу әрқайсысының дербес қуаттау көзі бар екі (немесе одан да көп) дәнекерлеу бастиегін іске қосу жолымен жылдамдатылуы мүмкін, электродтар әдетте шамамен 25 мм-ден 35 мм-ге дейінгі қашықтықта каскадты қосылыста орналасады.



1.9-сурет. MIG-MAG дәнекерлеуі

Тұтас балқитын сыммен жасалатын қорғауш газдағы доғалы дәнекерлеу

Электрод тұтас сым (диаметрі шамамен 0,5 мм-ден 2,4 мм-ге дейін болады) болып табылады, оның қуатталуы электр қуат беруді қамтамасыз ететін түйісу түтікпен жабдықталған жанарғы арқылы автоматты құрылғымен жүзеге асырылады.

Бұл жанарғыда газ шеңбер бойынша беріледі, ол балқытылған металдың қорғалуын қамтамасыз етеді. Бұл газ екі түрлі болуы мүмкін (1.9-сурет). Ол оқшау газ бола алады, бұл жағдайда үдеріс MIG (оқшау газдағы металл) дәнекерлеуі деп аталады. Немесе ол доға жануының жоғары беріктігін қамтамасыз ететін және жақсы енгізілетін аргон (таза немесе гелиймен араласқан) бола алады немесе аргонмен араласқан гелий бола алады: аргонның

үлесі доға жануының беріктігін сақтау үшін мейлінше жоғары болуы тиіс. Ол белсенді бола алады, сонда бұл үдеріс MAG (белсенді газдағы металл) деп аталады. Бұл жағдайда оның құрамында оттегі және жиірек бейтарап газдармен (ең бастысы аргонмен) араласқан CO_2 болады. Оттектің болуы (берілетін немесе CO_2 бөлшектену нәтижесінде келіп түсетін) бірталай артықшылықтар береді: доға мейлінше тұрақты жанады, дәнекерлеу ваннасы неғұрлым сұйық, бүрку жолымен тасымалдау электр қуатын беру жағдайларының барынша кең диапазонында белгіленуі мүмкін, фаски жақсырақ толтырылған, ал қуыс жерлердің болу ықтималдылығы аз. Бірақ доға бойынша тасымалданатын элементтердің жойылу қаупі сымды электродта оттегімен қосыла алатын элементтердің енгізілуіне әкеледі.

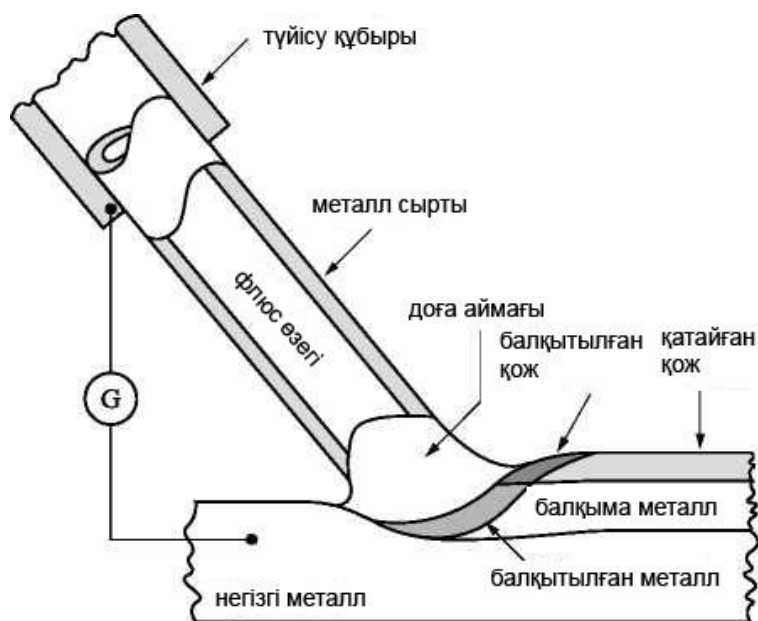
Сымның балқу жылдамдығын арттыру және доға бойынша балқытылған металдың тасымалдану режимін тұрақтандыру үшін қуат әдетте тұрақты тоқта және кері полярилықта (оң мәнді сым электрод) беріледі. Негізінде екі режим қолданылады:

– тығыз бұйымдарды дәнекерлеу үшін осьтік бүрку арқылы тасымалдау, бірақ ол жіктік және тегіс бұрышты дәнекерлеумен немесе құйғышты дәнекерлеумен шектеледі;

– аз қуатты талап ететін және жұқа бұйымдарды дәнекерлеуге және орнында дәнекерлеудің барлық түрлерін жүзеге асыруға мүмкіндік беретін қысқа тұйықталу бойынша тасымалдау.

Кейбір заманауи құрал-жабдық бекітілген жиілікпен тамшылардың айырылуына әкеліп, сонымен олардың өлшемін бекіту үшін негізгі тоққа қатысты кернеу соққыларын жасау мүмкіндігін береді. Одан кейін олардың тасымалдануын бақылау және олардың ағынын дәнекерлеу тоғына қарамастан реттеу мүмкіндігі туады. Пайдаланылатын термин - импульстік дәнекерлеу.

Жинақтаулар жоғарыда көрсетілген барлық бөлшектеу түрлерін пайдаланумен, жанарғы үшін жеткілікті қолжетімділікті қамтамасыз ету қажеттілігін ескере отырып жүзеге асырылады. Бұл қолжетімділік сымның осы ұзындығында Джоуль әсерімен қыздыру салдарында балқыма метал көлемін соңғы рет ұлғайтумен және тиісінше енуді азайтумен түйісу түтігі мен доға арасындағы электрод сымын ұзарту жолымен жеңілдетілуі мүмкін. Дәнекерлеу пайдалану параметрлері бейімделгеннен кейін барлық қалыптарда орындалуы мүмкін.



1.10-сурет. Толтырғышы бар сыммен доғалы дәнекерлеу

Толтырғышы бар сыммен доғалы дәнекерлеу

Бұл үдеріс (1.10-сурет) тұтас сымды флюс өзекті (диаметрі 1 мм-ден 4 мм-ге дейін) сымға ауыстыра отырып, тегіс балқығыш сыммен қорғауыш газдағы доғалы дәнекерлеуден туындайды. Өзегі бар сым құрамы мен рөлі жабылған электродтағы сылақтың құрамы мен

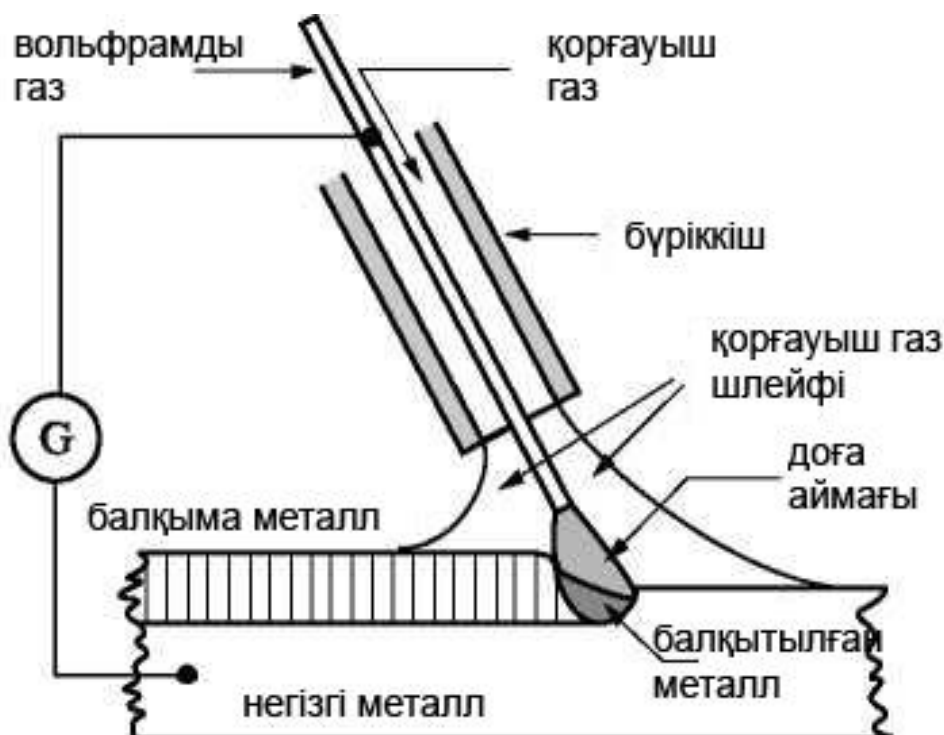
рөлімен салыстырылатын ұнтақпен (флюспен) толтырылған металдан жасалған түтікті сырттан тұрады. Өзегі бар сымды жасау үдерісіне сәйкес сым орау арқылы (флюспен толтырылған қуыс цилиндр тәрізді сымды созу арқылы) жасалуы мүмкін немесе ретке келтіру немесе сығымдау жолымен, сонымен оны мейлінше тығыздалып қалыптастырылуы мүмкін (бірақ ол құрамында флюс және металл толтырғышы ұнтағы бар екі параллельді толтыруды қайта қамти алады). Флюстер гигроскопты, ал металл сырты мейлінше тығыз болғандықтан, бұған да жабылған электродтарға қатысты пайдаланылатын қауіпсіздік шараларын қолдану қажет. Бірақ қожсыз өзегі бар (және тиісінше құрамында металл ұнтағы бар) сымдар бізге тиімді газ қорғаумен дәнекерлеу жылдамдығы мен қосылатын металл көлемін елеулі түрде ұлғайтуға мүмкіндік береді.

MIG немесе MAG дәнекерлеу кезіндегідей сым қуат беруді қамтамасыз ететін түйісу түтігі бар жанарғы арқылы автоматты құрылғымен беріледі. Бұл жанарғы газдың шеңбер бойынша берілуіне мүмкіндік береді, ол балқытылған металдың қорғалуын қамтамасыз етеді. Бұл газ әдетте реакция тудыруға қабілетті болады (CO_2 , мүмкін аргон қоспасымен де).

Тұтас сымға қарағанда барынша қатты болып табылатын толтырылған сым түйісу түтігі мен доға арасындағы электрод сымының ұзындығын қосымша ұзартуға және сонымен қолжетімділікті жеңілдетуге мүмкіндік береді (балқытылған металды қорғауыш газдан тым қатты ажыратпау үшін бұл қашықтықты тым ұзартуды болдырмау қажет).

Жинақтаулар жоғарыда көрсетілген барлық бөлшектеу түрлерін пайдаланумен, түйісу түтігі мен доға арасындағы электрод сымының ұлғайтылған ұзындығымен қамтамасыз етілетін жақсартылған қолжетімділікті ескере отырып жүзеге асырылады. Бұл қиықжиектегі саңылауларын азайтуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, жақсы ену өкшеліктер биіктігін ұлғайтуға және біріктірілетін беттер арасындағы қашықтықты азайтуға мүмкіндік береді. Дәнекерлеу әдетте көлденең күйінде, ал кейде басқа да қалыптарда орындалады және бұл жағдайда шағын диаметрлі өзегі бар сым пайдаланылады.

Өзекті сымдар қорғауыш газсыз дәнекерлеу үшін де ұсынылады. Болашақтағы қорғау қожбен (оның шектелген көлемі толық қорғауды қамтамасыз ету үшін жеткіліксіз), сондай-ақ флюске енгізілетін белгілі бір бұйымдармен туындалатын тығыз атмосферамен қамтамасыз етіледі. Сонымен қатар, толтырылған сымның металл сырты құрамында толымсыз қорғаудың зиянды әсерін (ашытқыштар мен нитрийсіздендіргіш заттектер) азайта алатын элементтер бар. Дәнекерлеу параметрлері доға ұзындығын азайту үшін реттеледі. Өзекті сым деректері дәнекерлеу жанарғысының өлшемін азайтуға, қолжетімділікті жеңілдетуге және сонымен жектердің қажетті бөлшектенуін шектеуге мүмкіндік береді.



1.11-сурет. TIG (құрамында оқшау газ бар вольфрам) дәнекерлеуі

в) доға баяу балқытылатын электрод пен жинақталатын компоненттер арасында жағылған

Балқытылмайтын электрод балқытылған металдың қорғалуын қамтамасыз ететін газдың шеңбер бойынша берілуімен жабдықталған жанарғыда ұсталынатын вольфрамды ұштықтан (1.11-сурет) тұрады. Бұл газ бейтарап болып келеді: аргон (кейде сутектің қосылуымен - шамамен 30% дейін) немесе гелий. Аргон доға жануының жоғары беріктігін қамтамасыз етеді, бірақ гелий ең жақсы жылу ПӘК және тиісінше неғұрлым терең енуді қамтамасыз етеді. Осы тұжырымдар жиірек аргон-гелий қоспалары (шамамен 80% Ar және 20% He) қолданылатынын білдіреді. Бұл үдеріс көбінесе TIG (құрамында оқшау газ бар вольфрам) дәнекерлеуі деп аталады. Негізгі металға байланысты артқы жаққа газды пайдаланумен газдан қорғау құрылғысын орнату талап етілуі мүмкін, ол немесе ұқсас, немесе жанарғыға берілетін (азот-сутек) газдан ерекшеленуі мүмкін.

Электрод (диаметрі 0,5 мм-ден 10 мм-ге дейін) таза вольфрамнан немесе цирконий (0,3-0,5%) немесе торий (1-2%) тотығы қосылған вольфрамнан болуы мүмкін. Бұл қосындылар электродтың сәулелену қуаттылығын арттырады және сонымен доға жануының беріктігін жақсартып, доғаны қыздыруға көмектеседі. Олар сонымен қатар электрод өнімділігін және тиісінше рұқсат етілетін максималды тоқты арттырады. Электрод нүктесінің пішіні TIG дәнекерлеуінің маңызды параметрі болып табылады. Әдетте тұрақты тоқ режимінде бағытталған электрод ауыспалы тоқ режимінде жартылайсфералық та болып келеді.

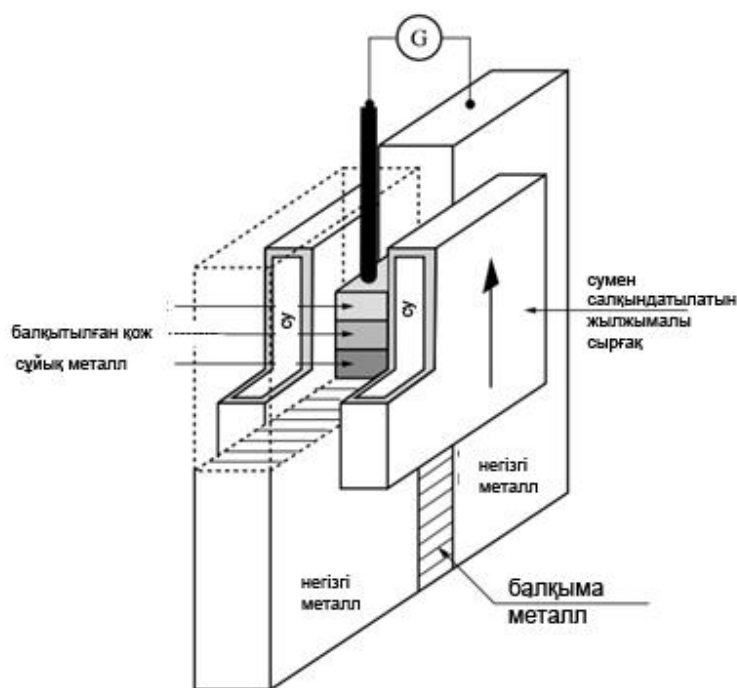
Әдетте электродқа электрондық сәулеленудің әсер етуін болдырмау үшін полярлығы тура болатын тұрақты тоқ (теріс мәнді электрод) қуат алу көзі болып табылады. Сонымен энергияның әсері жинақталатын бөлшектерде шоғырланады және сонымен қатар жіңішке дәнекерлеу жігі мен жақсы енуге қол жеткізіледі. Доға сонымен бірге ауыспалы тоқ (қолайлы келетін қуат алу көзімен) арқылы орнатылуы мүмкін, мұнда жинақталатын бөлшектерді тазарту үшін электрондық сәулелену талап етіледі. Доғаны қыздыру үшін пилоттық доға жиі қолданылады.

Толтырғыш балқытылған металл ваннасына тікелей шыбықтар түрінде немесе қажет болған жағдайда балқыма жылдамдығын арттыру үшін сымды алдын ала қыздыру мүмкіндігін беретін механикаландырылған орауышты пайдаланумен енгізілуі мүмкін.

Жинақтаулар жоғарыда көрсетілген бөлшектеудің барлық түрлерін пайдаланумен бір жағынан балқытылған металл көлемінің шектелуін және басқа жағынан ерекше сақтықтың қажеттілігін (тазалық, өлшемдер нақтылығы, әсіресе бөлшектер арасындағы қашықтықта, сол жерде артқы жағынан тірек орнату қажет шығар) ескере отырып, жүзеге асырылады. Дәнекерлеуді пайдалану параметрлері бейімделгеннен кейін барлық қалыптарда орындауға болады.

TIG үдерісін пайдалану жеңілдігіне және енуді ұлғайтуға жинақталатын жиектер бетіне реактивті флюсті жұқалап жағу арқылы қол жеткізуге болады.

Бұл флюстің құрамы (жиі тотықтардан және/немесе галогенидтерден қалыптасқан) негізгі металл қасиеттеріне сәйкес таңдалуы тиіс.



1.12-сурет. Тігінен жасалатын электрқожды дәнекерлеу

Тігінен жасалатын электрқожды дәнекерлеу

Бұл үдеріс екі бөлшек бетіне қойылып, екі жинақталатын секциямен және сумен салқындатылатын екі мыс сырғақпен қалыптастырылған параллелепипед түріндегі тік орналасқан қалыптастырушы башмақта балқытылған металл ваннасын жасаудан тұрады (1.12-сурет). Толтырғыштың балқытылуы салдарынан балқытылған металды үздіксіз берілуі (балқытылатын электрод сымы мен мүмкін балқымалы бағыттаушы сым) және балқытылған металдың біртіндеп қатаюы қадам қадаммен екі бөлікті біріктіреді. Қож ваннасы (қалыңдығы 40 мм-ден 60 мм-ге дейін) балқытылған дәнекерлеу ваннасының қорғалуын қамтамасыз етеді. Үнемі қыздыру электродта ішінара дамиды, әсіресе осы балқытылған минералды сұйыққоймада, Джоуль әсері салдарынан туындайды. Дәнекерлеу тігінен үстіне қарай жүреді. Ол қалыптастырушы башмақ түбін жабатын және сол жерде дәнекерлеу флюсі (қож жасайтын) балқытылатын сымды электрод пен қосымша арасында доғаны жандырудан басталады.

Балқытылған металл көлемі жеткілікті болғанда қож қабатын жасау үшін қажетті флюс көлемі енгізіледі: доға сонымен өшеді. Әдетте, жинақталатын жиек бойында құрамы бойынша негізгі металмен бірдей және қалыңдығы сол сияқты екі блок орнату ұсынылады.

Дәнекерлеу жігінің соңғы нүктесі балқытылған металл осы блоктар деңгейіне жеткен жерде орналасатын болады, сондықтан қатаю соңында шөгіндік қаяудың пайда болуы дәнекерлеу жігіне әсер етпейді (осылай жасалған кез келген артық балқыма кейін жойылатын болады). Жинақталатын бөлшектердің өлшемдеріне сәйкес бүйірдегі башмақтарды дәнекерлеу ізімен жылжу үшін үстіне тасымалдап отыруға болады.

Термиялық әсер ету аймағы жылудың қатты бөлінуі салдарынан ауқымды болып келеді. Жинақталатын бөлшектердің қалыңдығына байланысты бір уақытта бірнеше сымды электродты пайдалануға болады. Биіктігі елеулі дәнекерлеуді орындау үшін қожға салынған бағыттаушы балқытылатын сымды және бірден балқытылып жатқан сымды электродты (-тарды) пайдалануға болады: бұл бағыттаушы балқытылатын сым балқытылған металдың дәнекерлеу ваннасын қалыптастырады. Сондықтан «бағыттаушы балқытылатын сымды пайдаланып тігінен жасалатын электрқожды дәнекерлеу» деген термин қолданылады. Бұл техника әдетте ауыспалы тоқты қолданылады.

Бұл үдеріс қалыңдығы кем дегенде 40 мм болатын өңделетін бөлшектердің жіктерін және бұрыштарын (бейімделген башмақтарды пайдаланумен) дәнекерлеуге мүмкіндік береді.

Термитті дәнекерлеу

Осы үдерісте дәнекерлеу белгілі қашықтықта бетпе-бет орналастырылған

жинақталатын бөлшектердің екі беті айналасында пайда болған қалыптастырушы башмаққа металды балқытылған (толтырғыш) күйінде жіберу жолымен орындалады. Осы екі бет башмақтағы саңылаулар арқылы алаумен алдын ала қыздырылады. Балқытылған металл орнында алюмотермия, яғни тотықтар (металл толтырғышы) мен ұнтақ тәрізді алюминий арасындағы экзотермиялық реакция арқылы жасалады. Бұл операция башмақтың үстінгі бөлігінде орналасқан отбақырда орындалады. Балқытылған толтырғышты құйған кезде жинақталатын бөлшектердің беті қосылыс қатайғанға дейін балқытылады. Балқытылған металдың қорғалуы алюмотермиялық реакция барысында пайда болатын қожбен қамтамасыз етіледі. Бұдан кейін баспақшалыпты алып тастап, артық балқымаларды жою үшін жинақталған бөлшектерді тегістеу керек.

1.3.2 Механикалық әсер қолданылатын компоненттерді жергілікті балқыту үдерістері

Балқытылған дәнекерлеу ваннасын жасау үшін пайдаланылатын жылу біріктіретін жазықтықты кесіп өтетін қарқындылығы жоғары ауыспалы тоқ үшін Джоуль әсерімен қамтамасыз етіледі. Жинақталатын бөлшектердің екі беті арасындағы түйісу қарсылығы осы жазықтықта балқыманы шоғырландыруға мүмкіндік береді.

Балқытылған металдың түрленуіне сәйкес жіктелетін бірнеше үдеріс әзірленді: ұстап қалу немесе шайқап төгу. Екі жағдайда да неғұрлым ауыр және арнайы техника талап етіледі.

1.3.2.1 Балқытылған металды ұстап қалып қарсылықпен дәнекерлеу

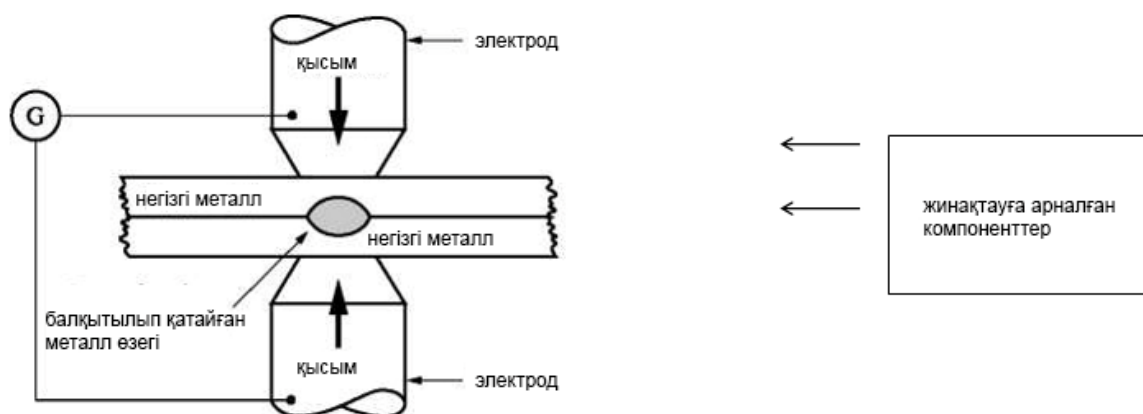
Бұл үдеріс Джоуль әсері мен дәл балқытылған металл аймағы орналасқан жерде қосылыстың сыртқы бөлігіне перпендикулярлы жасалатын механикалық қысымды сабақтастырады. Осы күшті қолдану мақсаты - жинақталатын бөлшектер арасында жақсы электр түйіспесін қамтамасыз ету, сонымен балқытылған металды қалыптасатын аймағында шектеу және шөгіндік қаяуларының пайда болуын болдырмау мақсатында оның жинақылығын жақсарту үшін оған қатайғаннан кейін қысым қолдану (шыңдау ретінде танылған операция). Әдетте, бұл күш тоқты жеткізетін электродтар тарапынан жұмсалады. Бұл олар қалыңдығы шектелген жабылатын жинақталатын бұйымдар болып табылатынын білдіреді. Балқытылған металды дәнекерлеу жігі шегінде ұстап қалу ауамен араласуды болдырмауға мүмкіндік береді, сонымен оны қорғау мәселесі туындамайды.

Бұл үдерістің тиімділігі бөлшектер арасындағы электрлік түйіспенің қарсылығына байланысты болатын Джоуль әсерімен қыздырылатын аймақты оқшаулауға қатысты. Бір жағынан электр тізбегіндегі басқа ілесіп қосылған қарсылықтар неғұрлым төмен болғандай, ал басқа жағынан дәнекерлеу тоғын бір немесе бірнеше параллельді тізбектерге бұру мүмкіндігі болмағандай қауіпсіздік шараларын қолданған жөн.

Дәнекерлеу тоғын, сондай-ақ қысу күшін басқару төмендегілерді жүзеге асыруға мүмкіндік беретін автоматизация арқылы реттеледі:

- екі компонентті тығыз түйістіріп, электрлік түйіспені қамтамасыз ету үшін тоқ өткенге дейін қысым жасау,
- тоқ қарқындылығын реттеу және оның ұзақтығын шектеу (негізінде, бірнеше кезеңнен ондаған кезеңдерге дейін, яғни секундтың ондық үлесімен есептелетін интервалдар),
- беттердің ажырауын (кеңею салдарынан) және балқытылған металдың кейіннен ыдырауын болдырмау үшін тоқ өткен кезде қысымды реттеу,
- балқытылған металл көлемінің жинақылығын қамтамасыз ету үшін күшті ұстау немесе ұлғайту,
- қажет болғанда төмендетілген тоқты қосымша қыздыру ретінде жіберу.

Электродтар мыс негізіндегі қорытпалар болып табылады. Қоспаланатын элементтерді (Cr, Zr, W, Cd, Co, Be және т.б.) қосу олардың электрөткізгіштігі мен жылуөткізгіштігіне қатты әсер етпей қажетті механикалық қасиеттер береді. Дәнекерлеуге жататын түйісу беті таза және пішіні бойынша біртекті болуы тиіс.

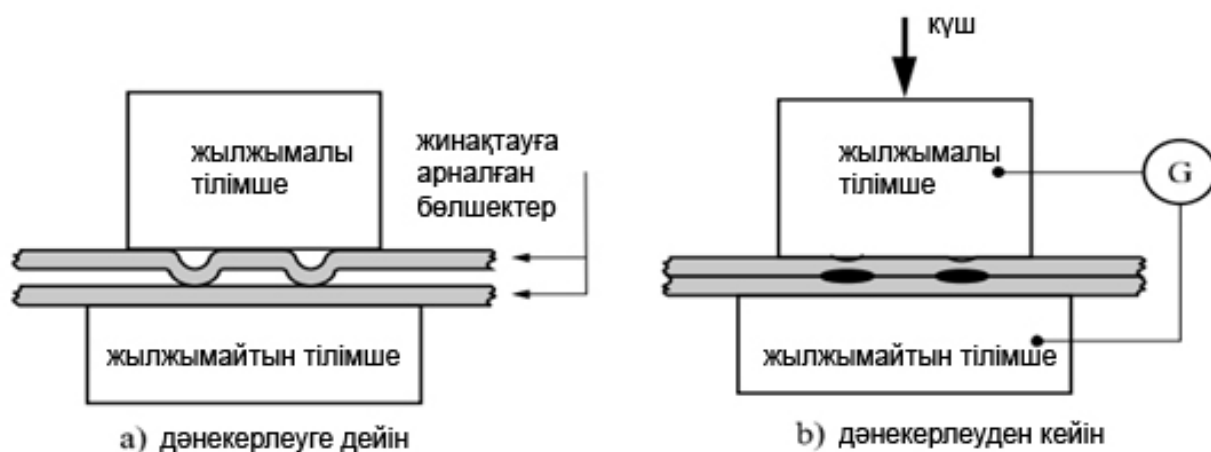


1.13-сурет. Қарсылық арқылы жасалатын нүктелі дәнекерлеу

Қарсылық арқылы жасалатын нүктелі дәнекерлеу

Бұл үдерісте тоқтың берілуі мен жүктеменің жасалуы ішкі су айналымымен салқындатылған кесілген конус түріндегі ұштықтары бар цилиндр тәрізді электродтармен жүзеге асырылады. Олардың түйісу беті, негізінде, тегіс немесе сәл дөңес болып келеді. Олар тұрақты машиналарға немесе жылжымалы құрал-саймандарға орнатылады: тоқ төмендеткіш трансформаторы дәнекерлеу аймағына мейлінше жақын орналасқаны орынды болып табылады.

Балқытылған металл көлемі сопақ пішінді болып келеді және нүктелі дәнекерлеу деп аталады. Дәнекерлеу үзікті болады және дәнекерлеу жігінің жасалуына кепілдік берілмейді. Соңғы жүктеменің жасалуы әдетте дәнекерлеу қосылысының екі жағында да ойықтың пайда болуына әкеледі және бұл жағдайда екі жақтың бірінде электродты дәнекерлеу тоғы өтетін мыс тілімшесіне ауыстырып, оны болдырмауға болады.



1.14-сурет. Бұдырлы дәнекерлеу

Кейбір жағдайларда екі трансформаторды біріктіріп (ілесіп қосылған нүктелі екіжақты, қостүйіспелі жинақтаумен) немесе бір ғана трансформаторды (тоқтармен бақылауға болатын жағдайда) пайдаланып, бір уақытта екі нүктелі дәнекерлеу жігін жасауға болады.

Қарсылықпен жасалатын бұдырлы дәнекерлеу

Бұл дәнекерлеу үдерісінде (1.14-сурет) тоқтың өтуі бір немесе екі жинақталатын бетте жасалған *бұдыр* деп аталатын көтерілген телімдермен оқшауланады. Бұл дөңес жерлер жұқа тегіс жайматабақтарда таңбаланып, қалған жағдайларда білдектерде жасалады. Тоқтың берілуі мен жүктеменің жасалуы әдетте тілімшелерді пайдаланумен қолданылады: қыздыру

және балқыту кезінде дөңес жерлер бұзылады және жылжымалы тілімше жинақталатын бөлшектердің тығыз түйісуін қамтамасыз ету үшін мейлінше тез жауап беруі тиіс. Егер қуат алу көзі мықты болса, үнемдеу мақсатында бірнеше дөңес жерді дәнекерлеуге болады. Тілімшелердің тозуы мен компоненттердің пішін өзгерісі төмен болады. Дұдырлар геометриясы нақты бақылануы тиіс.

Қарсылық арқылы роликті дәнекерлеу

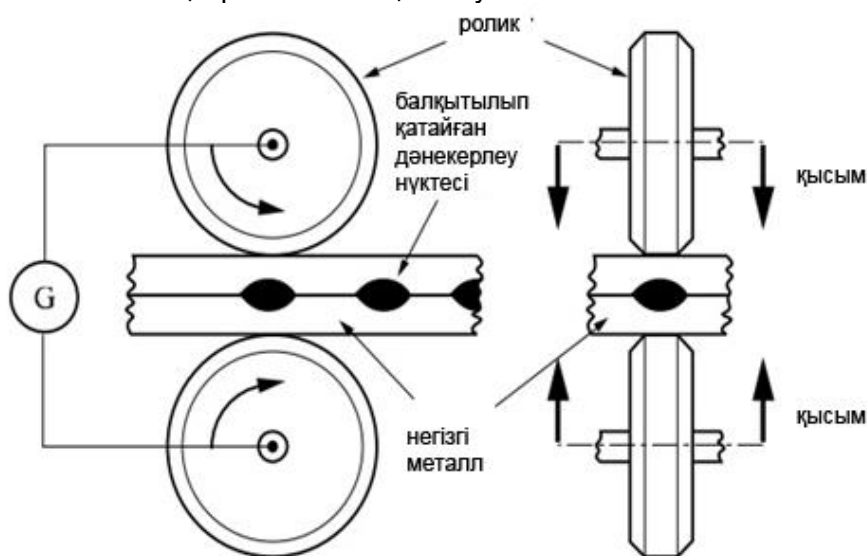
Қарсылық арқылы роликті дәнекерлеу кезінде (1.15-сурет) электродтар роликтер деп аталатын мыстан немесе мыс қоспасынан жасалған дискілерге ауыстырылады. Бұл роликтер компоненттердің шырқатылуын қамтамасыз ету үшін қозғалысқа келтіріледі. Әрине, олар электр тоғын тасымалдайды және қажетті жүктеме жасайды.

Электр тоғы, негізінде, нүктелі дәнекерлеу кезіндегідей модульденеді, бірақ қайталанады және дәнекерлеу бірізді орналасатын нүктелерден тұрады. Ол төмендегідей бола алады:

- бірізді дәнекерлеу нүктелері жабылмаса, үзікті бола алады. Әр дәнекерлеу нүктесінде роликтің айналуын тоқтатып, нүктелі қысым жасауға болады және нәтижесі нүктелі дәнекерлеуге сәйкес болады. Сонымен қатар үздіксіз жұмыс істеуге болады, бірақ бұл жағдайда соғусыз (үнемі күш жұмсай отырып),

- егер түрлі дәнекерлеу нүктелері жабылатын болса үздіксіз бола алады, яғни әрбір дәнекерлеу нүктесінің жасалуы алдындағы нүктенің ішінара қайта балқытылуын талап еткен жағдайда. Сонымен, дәнекерлеу мінсіз дәнекерлеу жігін жасайды.

Роликті дәнекерлеуде дәнекерлеу кезінде жұмсалатын күшті пайдалана отырып, жіңішке жайматабақтардың жіктерін жасауға болады: қосымша қалыңдық кейіннен жойылады. Осыған қолжеткізу үшін аралық жабын біржарым еселік қалыңдықтан аспауы тиіс және жинақталатын жайматабақтар өте тығыз қысылуы тиіс.



1.15-сурет. Қарсылық арқылы роликті дәнекерлеу

1.3.2.2 Балқытылған металды итеріп шығарумен қарсылық арқылы дәнекерлеу

Бұл үдерістер қыздырғаннан кейін, жинақтаудан кейін және оның жалпы беті бойынша оған перпендикулярлы болатын Джоуль әсерін жасалған механикалық қысыммен біріктіреді. Осы күшті қолдану мақсаты - солидус температурасына дейін қыздырылған беттердің тығыз түйісуіне жағдай жасай отырып, байланыс құру. Қосылыс шеттерінде дәнекерлеу металынан дөңес жер пайда болады, ол кейін жойылуы тиіс. Қыздыру аймағы шектелгендіктен, оны қорғау мәселесін қарастыру мүмкін емес. Бұл жағдайларда екі мүлдем бір-біріне ұқсамайтын үдеріс қолданылады.

Қарсылықпен жіктік дәнекерлеу кезіндегі шөгінді

Күш екі кезеңге бөлініп жұмсалады: ең алдымен жинақталатын беттер арқылы тоқтың өтуін қамтамасыз ету мақсатында бөлшектерді салқын күйінде қосу кезінде және кейін

дәнекерлеу қосылысын қамтамасыз ету үшін тоқ өткеннен кейін, бұл жағдайда артықшылық немесе балқыма білікшесі қалыптасады, олар жойылуы тиіс. Джоуль әсері екі бөлшек арасындағы түйісу аймағымен шектелген және қыздыру үдерісі оларды соғу температурасына дейін жеткізу керек.

Бұл үдеріс көп энергияны тұтынады және жинақталатын беттердің мұқият дайындалуын талап етеді (олар жұмсалатын күшке параллельді және перпендикулярлы болуы тиіс). Сонымен, қорытумен жасалатын жіктік дәнекерлеу кейде неғұрлым қолайлы келеді.

Салқын күйінде майыстырылған пішіндерді көлденең тұйықтау арқылы дәнекерлеу үшін пайдаланылатын баламалы үдеріс жоғары жиілікті (ЖЖ) индукциялық қыздыруды пайдаланады. ЖЖ-тоқ белгіленген жік үстінде дәнекерлеу жігінің шеттерінде ұнтақталатын екі түйіспе арқылы беріледі.

Скин-әсер салдарынан тоқ жиектермен түйісу нүктесіне (нәтижесінде балқыту нүктесіне) қарай өтеді, сол жерде ол жылуды тудырады және екі роликтің қысымымен байланысты қалыптастыруға мүмкіндік береді. Бұл үдеріс біріктіруші жазықтықты кесіп өтетін индукцияланған тоқты жасау мүмкіндігі туындаған әр кезде іске асырылуы мүмкін.

Қорыту арқылы жіктік дәнекерлеу

Бөлшектер тоқ берілгеннен кейін ғана біріктіріледі, сондықтан тоқ ең алдымен қарама-қарсы беттердің кедір-бұдырлылықтарымен жасалған түйісу нүктелерімен ғана жіберіледі: бұл нүктелерде тоқ тығыздығы өте жоғары болады. Балқытудың басталуымен сұйық бөлік ұсақ қыздырылған бөлшектер түрінде итеріп шығарылады: бұл қорыту болып табылады. Біртіндеп бұл қорыту бүкіл біріктіруші жазықтықты қамтиды. Бұл нәтижеге қол жеткізілген сәттен бастап түйісу қысымы балқытылған металды және оның құрамындағы қоспаларды итеріп шығару және тоқты өшіре отырып қосылысты қамтамасыз ету үшін күшейтіледі. Балқытылған білікшенің артықшылығы осы соңғы фазада қалыптасады және ол жойылу керек. Үлкен қима бөлшектерін алдын ала қыздыру электр қуаттылығы мен талап етілетін күшті шектейді. Бұл сонымен қатар қорыту кезінде заттектің ысырабын азайтады, бірақ балқытылған білікше көлемін және операцияның ұзақтылығын ұлғайтады.

Бұл үдеріс жинақталатын беттер жиектерінің мұқият дайындығын талап етпейді: қорытудың өзі де жеткілікті болады. Әдетте, күш қорыту жүргізілгеннен кейін бірден жұмсалатындықтан, балқытылған аймақты тотығудан қорғау қажеттілігі жоқ.

Бұл үдеріс түрлі пішінді (бірнеше мм² -ден 1000 см² артық өлшемге дейін) компоненттер мен секциялардың өтпелі дәнекерленуін жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

1.3.3 Механикалық әсермен балқытпай қыздыруды пайдаланылатын үдерістер

Қыздыру сыртқы қуат көзінен (қарсылық немесе индукция) немесе механикалық әсерден (үйкеліс) бола алады. Жұмсалатын күш мұқият бақылануы тиіс. Сонымен, бұл үдерістер өте ерекше құрал-жабдықтарды талап етеді.

Диффузиялық дәнекерлеу

Диффузиялық дәнекерлеу қатты заттардың жабысу үдерісі болып табылады, мұнда қолайлы қысыммен түйістірілетін жинақталатын бөлшектер біріктіруші жазықтық арқылы атомдар диффузиясын қамтамасыз ету үшін қажетті жоғары температураларға (балқыту температурасына қарағанда мейлінше төмен) дейін жеткізіледі және сол қалпында сақталады. Бұл жергілікті пластикалық пішін өзгерістеріне байланысты металдың үздіксіздігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Қысым төмендегідей бола алады:

– біріктіруші жазықтыққа перпендикулярлы: мұндай жағдайларда әдетте макроскоптық пішін өзгерісті болдырмау үшін оның диффузия температурасы кезінде металл серпімділігінің шегінен шықпауы ұсынылады,

– изостатикалық: бұл жағдайда қысым шектелмеген және кеуектіліктің жойылуы елеулі түрде жақсартылған.

Жинақталатын беттер жылтыратып өңделуі (максималды тығыз түйісуді қамтамасыз ету үшін) және мұқият тазартылуы (диффузияға кедергі келтіре алатын кез келген ластануларды жою үшін) тиіс. Олардың арасына бір немесе бірнеше жанбайтын жайматабақ (жайма металл немесе балқыма) қоюға болады.

Бұл беттердің атмосферамен болатын кез келген ыстық реакциясын болдырмау үшін қауіпсіздік шараларын қолдану қажет (вакуумды дәнекерлеу немесе бейтарап атмосферада дәнекерлеу). Кез келген берілген жиек дайындығы үшін қосылыс сапасы қысымға, температураға және белгілі температурада сақталу ұзақтығына байланысты болады.

Дұрыс модульдендірілген осьтік жүктеме (кез келген температура кезінде серпімділіктің тиісті шегіне тең болатындай) кезінде индукция арқылы тез оқшаулап қыздыру ұзақтығы өз деңгейіне байланысты 1-ден 60 секундқа дейін өзгеріп отыратын температура кезінде сақталғаннан кейін қосылыстың орындалуын мүмкін қылдыратыны көрсетілді [LEF 92]. Қыздыру жағдайлары, сонымен қатар термиялық дәнекерлеу циклі шеңберінде термиялық өңдеуді жүргізуге мүмкіндік береді. Бұл үдеріс көптеген металдарға қатысты қолданылады.

Үйкеліспен дәнекерлеу

Үйкеліспен дәнекерлеу - бөлшектердің бір-біріне қарама-қарсы айналуын (максималды айналым жылдамдығы шамамен 150 м/мин) және үйкеліс арқылы түйісу бетінде жылуды тудыру үшін (бір ғана бөлшек айналады; ол циркулярлы болуы тиіс, ал оның диаметрі, егер ол тұтас болса, шамамен бірнеше мм-нен 150 мм-ге дейін өзгеріп отыруы мүмкін) осьтік жүктеме жасауды қамтитын қысыммен жасалатын жіктік дәнекерлеу үдерісі. Талап етілетін температураға қол жеткізілгенде айналу тоқтатылады және осьтік жүктеме соғумен дәнекерлеуді қамтамасыз ету үшін бір уақытта ұлғаяды.

Бөлшектің айналуы сервоқозғалтқышпен немесе сермермен жүзеге асырылады. Бірінші жағдайда қозғалыс ағытылу мен тежелу салдарынан тоқтайды, екінші жағдайда тоқтау сермердің (ол қажетті қыздыруды қамтамасыз ету үшін жұмыс алдында жеткілікті жылдамдықпен айналды) кинетикалық қуатының азаюы салдарынан болады.

Дәнекерлеу жігінің құрамында балқытылған металл болмайды және бұл жағдайдың екі негізгі салдары бар:

- жіктің механикалық қасиеттері мықты;
- түрлі металдарды (мысалы, темір мен алюминийді) дәнекерлеуге болады.

Қосылыс шетінде артық білікше пайда болады, ол жойылуы тиіс. Жинақталатын беттердің тазартылуы үйкеліс арқылы қамтамасыз етіледі: сонымен бұл үдеріс не беттің мұқият дайындалуын, не дәнекерлеу кезінде олардың қорғалуын талап етпейді.

Егер екі жинақталатын бөлшектің ешқайсысын айналдыру мүмкіндігі болмаса, айналдыруға болатын адаптерді енгізуге болады.

Үйкеліс арқылы дәнекерлеумен салыстыруға болатын үдеріс қазіргі уақытта араластырғыш үйкеліспен дәнекерлеу деген атаумен ұсынылады. Мұнда қолайлы пішінді шығындалмайтын айналмалы құрал-сайман қолданылады, ол біріктіруші жазықтыққа өтеді, соның салдарынан болатын үйкеліс қыздыруды тудырады, бұл негізгі металл серпімділігінің шегін азайтады. Елеулі пластификация дамиды және құрал-сайманның жылжуы (жылдамдығы доғалы дәнекерлеу кезінде пайдаланылатын жылдамдыққа жуық келеді) құрал-сайманның алдыңғы бөлігінен ол екі жинақталатын бөлшек арасындағы байланысты қамтамасыз ететін артқы бөлігіне жылжитын заттектер ағынын тудырады. Мұндай жинақтау қасиеттері қызық болып келеді.

Ұсталық дәнекерлеу

Бұл үдерісте жинақталатын бөлшектер жеткілікті температураға дейін қыздырылады да, кейін түйіспе бетінде пластикалық пішін өзгерісі арқылы қосылыс жасау үшін соғылады. Екі жинақталатын бет арасында соғу кезінде шығару арқылы тотықтардың жойылуын қамтамасыз ететін тазартқыш құралды (флюстің баламасы) пайдалану қажет.

1.3.4 Қыздырусыз механикалық әсер пайдаланылатын үдерістер

Ультрадыбыстық дәнекерлеу

Бұл түйіспелі қысыммен қаусырып дәнекерлеу үдерісі, оның барысында қысқа мерзімге ультрадыбыстық ауытқулар (20-дан 100 кГц дейін) қолданылады, екі жинақталатын бет бір-біріне қарама-қарсы қозғалысқа келтіріледі. Сонымен, біріктіргіш жазықтықтың екі жағындағы металдың елеусіз көлемі қайтакристалдану температурасына дейін жоғарылайды (үйкеліс арқылы) және нәтижесінде байланыс қалыптасады.

Компоненттер неғұрлым қалың (әдетте, 2 мм артық емес) және ауыр болса,

ультрадыбыстық энергия көбіректеу талап етіледі. Сонымен, түрлі металдарды дәнекерлеуге болады.

Жарылыс арқылы дәнекерлеу

Бұл дәнекерлеу үдерісіжабу немесе жалату жолымен қосылыстар жасау үшін пайдаланылады. Жапқыш немесе жалатқыш металл негізгі металға оның сыртқы бетінде үлестірілген жарылғыш қабаттың үдемелі детонациясы жолымен қарқынды түрде проекцияланады. Соққы толқыны оның үлестірілуіне қарай жинақталатын беттерді мұқият тазартатын және қосылыстың жасалуын қамтамасыз ететін металл ағынынң түйісу аймағы алдында шығарынды тудырады. Бірақ ол үшін дәнекерлеу алдында алдын ала химиялық тазартудан өткен екі бет арасында саңылау қалтырылуы тиіс. Олардың беті (бірнеше см² бастап бірнеше м² дейін) тегіс, цилиндр, түтік тәрізді немесе майысқан болуы мүмкін. Осылай түрлі металдарды жинақтауға болады.

1.4 Пайдаланылған әдебиет тізімі

[COL 96] COLLECTIF, Termes et définitions utilisés en soudage et techniques connexes, Publications de la Soudure Autogène, 1996.

[LEF 92] LEFRANCOIS P., KERGOAT M., CRIQUI B., HOURCADE M., “L’assemblage de l’acier en quelques secondes grâce au soudage-diffusion-dynamique à l’état solide: cas du 27CD4 soudé à 1050°C”, Mémoires scientifiques de la Revue de Métallurgie, January 1992.

[RYK 74] RYKALINE N.N., “Les sources d’énergie utilisées en soudagé”, Soudage et techniques connexes, December 1974.

2 тарау

Жоғары тығыздықты сәулелі дәнекерлеу үдерістері: электронды сәуле және лазерлік сәуле

Жоғары тығыздықты сәулелік энергияны пайдаланумен дәнекерлеу үдерістері лазерлік сәулемен дәнекерлеуге арналған оптрониктер және электронды-сәулелік дәнекерлеу үдерісіне арналған рентгендік және вакуумдік әдістерді қолдану салаларындағы 20 ғасырдың екінші жартысындағы физиктердің ғылыми зерттеулерінен шығады. Бетте өте шағын ауданға ие нүктелердегі осы нүктелердің концентрация мүмкіндігі инженерлерді дәнекерлеу жіктері немесе кесіктеріне жетуге арналған материалдарды балқыту үшін осы қасиетті пайдалануына түрткі болды.

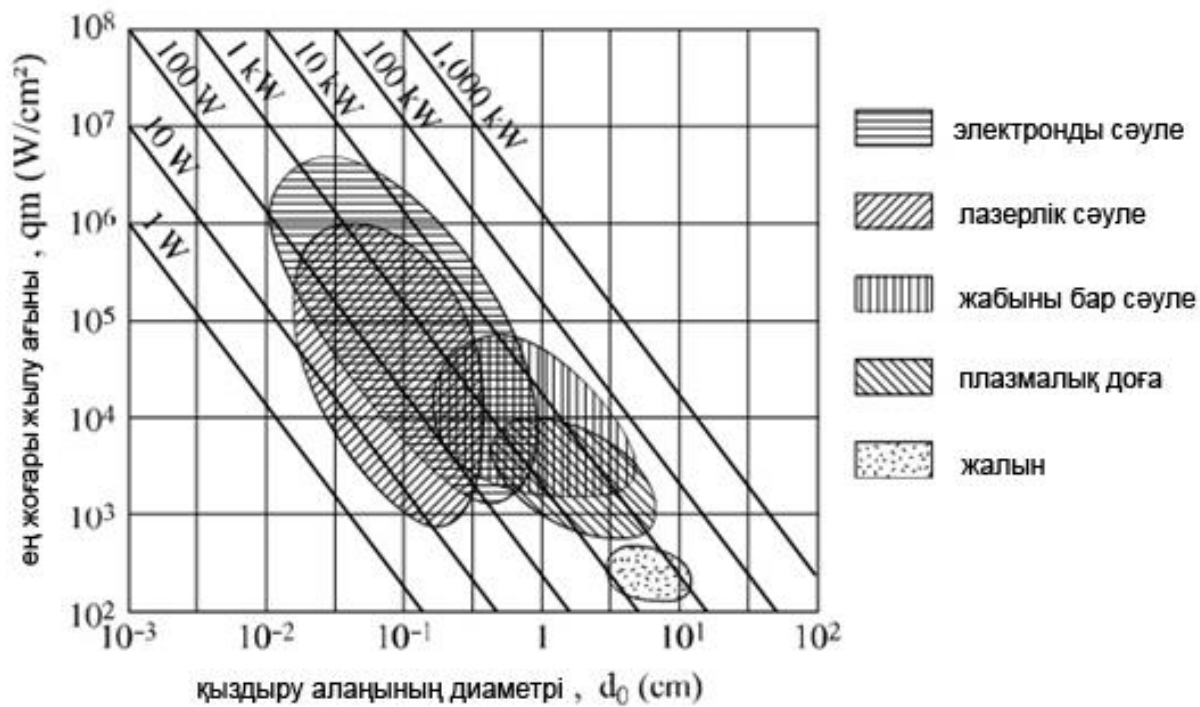
Доғалық дәнекерлеудің дәстүрлі үдерістерімен салыстырғанда бұл екі үдеріс өңделетін бөліктегі қолдану нүктесіндегі энергияның өте жоғары тығыздығымен сипатталады. Рыкалин [RYK 74] осы көздердің диаметрлері және жылу көздерінің ортасындағы жылу ағындары бойынша бірнеше үдерістер үшін салыстыра отырып көрініс берді. Лазерлік немесе электронды сәуленің фокалды нүктесінде өлшенген энергия тығыздығы оттегілік-отындық жалында алынатын тығыздыққа қарағанда на қарағанда 10000 есеге жоғары екені анықталды (2.1-суретті қараңыз).

2.1. Жоғары тығыздықты энергиясы бар сәулелік дәнекерлеу қасиеттері

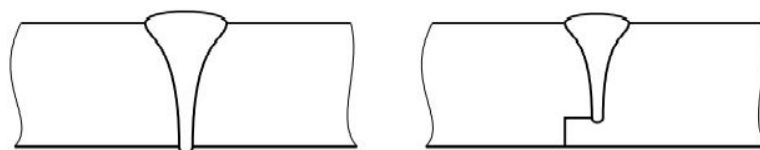
Бұл жағдай пісірілетін бөліктер деңгейінде пайдаланылатын фокустық нүктелер шамасынан (негізінен, миллиметрден аз) шығады. Аталмыш қасиеттер келесілер болып табылады:

- бір өтпелі дәнекерлеу;
- жалғастырылатын бөліктер арасында саңылау болмағанда қондырма материалсыз дәнекерлеу;
- жұқа бөліктерді жылу өткізгіштік жолымен дәнекерлеу (миллиметрдің он үлесі);
- капиллярлар жұбын түзу жолымен өте тығыз бөліктерді дәнекерлеу (миллиметрдің ондық үлестері). Соңғы жағдайда дәнекерлеудің екі режимі бар:
- электрон сәулесі немесе фотон өңделетін бөліктің барлық қалыңдығы арқылы өтетін құлыптық ұңғыманы пайдаланумен дәнекерлеу жігінің толық өтуі (2.2-суретті қараңыз),
- өңделетін бөліктің қалыңдығының бөлігін ғана сәуле балқытқанда дәнекерлеу дігінің ішінара өтуі (2.2-суретті қараңыз);
- энергияның өте жоғары тығыздығынан өте тар дәнекерлеу жіктері (балқыту аймағы және термиялық әсер аймағы);
- осы екі үдерісті механикалық шешімге айналдыра отырып өте кішкентай өзгерістермен алынған дәнекерлеу жіктері, себебі осылайша пісіргеннен кейін өзгерісті түзетуді талап етпейтін бөліктер немесе өңделген бөліктерді дәнекерлеу мүмкін болады. 2.3-суретте GTAW, плазменной дуги, GMAW и электрондыго луча арқылы 15 мм қалыңдықты мартенситті болат табақты дәнекерлеуде алынған өзгеріс көрсетілген (көлденең және бойлық қондырма қуыстардың түзілуі);
- балқытылған аймақтар және жылулық әсер аймақтарының тотығуынан жақсы қорғауды қамтамасыз ететін вакуумдегі (электронды сәуле) немесе газды қорғауы бар дәнекерлеу жіктері (лазер) және титан және цирконий сияқты осы құбылысқа сезімтал

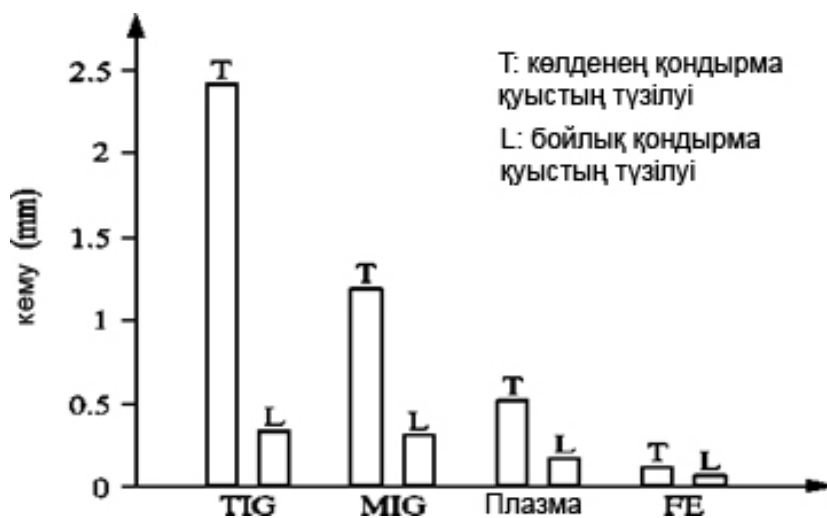
материалдарды дәнекерлеуге мүмкіндік береді.



2.1-сурет. Рыкалин диаграммасы



2.2-сурет. Толық және ішінара өтумен дәнекерлеу
(Institut de Soudure құжаты)



2.3-сурет. Жіктік дәнекерлеумен пісірілген тот баспайтын болатты мартенситті жинаудағы көлденең және бойлық қондырмалар (Institut de Soudure құжаты)

2.2. Лазерлік сәулемен дәнекерлеу

2.2.1. Алдыңғы тарих

Эйнштейн 1917 жылы негізделген сәулеленуді ынталандыру теориясы әкелген технологиялық төңкеріс туралы әрине ойламады да. Технологиялық оқиға шынымен де тек 1954 жылы профессор Таунс және оның командасы бірінші күшейткішті және ынталандырылған сәулелену генераторын әзірлегенде басталар еді, олар оны «MASER» (Ынталандырылған сәулелендіру көмегімен микротолқынды күшейткіш) деп атады. Осы ашудан кейін көптеген басқалары болды.

1958 жылы Шавлов және Таунс ынталандырылған сәулелену көмегімен когерентті жарықты алудың теориялық мүмкіндігін көрсетті. Бірінші лазерлік көз болып 1960 жылы Майман шығарған рубин лазері болды. Одан кейін тез арада бірінші газ лазерді Яванның лазерлеуі болды (гелий-неонды лазер). Көптеген делдалдар одан кейін лазерлерді дайындау үшін зерттеліп, пайдаланылды: легирленген кристалдар, жартылай өткізгіштер, иондалған газдар, молекулярлық газдар, сұйықтар, бояғыштар.

Қазіргі уақытта лазерлік бағытта әдеттен тыс даму орын алған және ол қызметтің көптеген салаларында пайдаланылады.

2.2.2. Құрылғы принципі

Лазер – бұл *ынталандырылған сәулелендіруде жарықты күшейтудің* бастапқы әріптерінен түзілген аббревиатура.

Атом энергияның кейбір мөлшерінің жұтылуы жолымен E_1 негізгі жағдайынан E_2 қозған жағдайға өтеді ($h\nu$). Бұл энергетикалық салым шығуы бойынша механикалық немесе кинетикалық бола алады. Бұл атом энергияның өзіндік мөлшерін қалпына келтіру жолымен өзінің негізгі жағдайына оралады, бұл келесі арақатынаспен көрінген «кенеттен сәулелену»:

$$h\nu = E_2 - E_1$$

мұнда h – Планк тұрақтысы және ν – туындайтын фотондардың жиілігі.

Бұл «когерентті емес» ретінде белгілі жарықты шығаратын кездейсоқ сәулеленетін фотондар. Барлық осы фотондар арасында поляризация және бағыт, фазамен өзара байланыс жоқ.

Егер түсетін фотон қоған атомның негізгі жағдайына қайтуды туындатса, «ынталандырылған сәулелену» болады. Екі сәулеленетін фотон фазада болады, олар түсетін фотондағыдай бағытқа және поляризацияға ие болады: ынталандырылған сәулелену есебінен жарықты күшейту болады.

Қозу «айдау» деп аталады. Бұл қозған және қозбаған атомдар арасындағы тығыздық инверсиясына мүмкіндік береді. Айдау үшін газды лазерлер жағдайындағы радиожиіліктер немесе электр разряды, сондай-ақ шамдар немесе қатты лазерлер жағдайында лазерлік диодтар немесе шамдармен қамтамасыз етіле алатын сыртқы энерги көзі талап етіледі.

Осылайша, лазерлік көз үш негізгі элементтер тұруы тиіс:

- бөлшектерден тұратын белсенді орта (атомдар, иондар, молекулалар),
- ортаны қайта айдауға арналған энергия көзі және осылайша, тығыздық инверсиясын алу үшін,
- фотонның тербелісін қамтамасыз ететін екі айнадан тұратын резонаторлық шағылдырғыш. Егер айналардың бірі ішінара шағылдыратын болса, ол кейбір фотондарға ағауға және когерентті жарық сәулесін түзуге мүмкіндік береді.

Осылайша алынған лазерлік сәуле лазерлік сәуленің сапасын анықтайтын энергияны тарату және поляризация, шығудың белгілі бір сипаттамаларына ие болады.

2.2.3. Лазерлердің әр түрлі типтері

2.2.3.1. CO₂-лазердің көздері

Газды лазердің көздері көбіне материалдармен жұмыс үшін пайдаланылады. Белсенді орта гелий (50%), азот (40%) және CO₂ (10%) құрайтын газды қоспадан тұрады. Айдау электр разрядымен немесе барынша жиі радиожиіліктермен жүзеге асырылады. Азоттың қозған молекулалары CO₂ молекулаларына өзінің қозуын береді. Осылайша алынған сәулелену толқынының ұзындығы 10,6 мкм оптикалық талшық бойынша сәулені тасымалдауға мүмкіндік бермейді. Тек аз икемді жүйе мүмкін – айналар бойынша тасымалдау. Сәуле пульсациясы мүмкіндігіне қарамастан дәнекерлеуде негізінен үздіксіз жұмыс режиміндегі CO₂ пайдаланылады. Осындай лазерлік көздердің электр тиімділігі 10% төмен.

Әр түрлі технологияларды дамытуға үлкен тиімділікпен және сәуле сапасымен барынша қуатты лазерлік көздерді іздеу әр түрлі технологияларды дамытуға әкелді. Олар шағылдырғыш формасына және қозу типіне, газ циркуляциясының бағыты бойынша ажыратылады. Біз олардың бесеуін ажырата аламыз.

Герметикалық лазерлік көздер

Олар газ қоспаны қамтитын разрядты түтіктен тұрады. Олар шектеулі қуаттылыққа ие (≤ 600 Вт), бірақ өте жақсы сападағы сәулемен қамтамасыз етіледі. Металл материалдар саласында әсіресе жұқа табақтарды кесу және нақыштау үшін жақсы бейімделген. Дегенмен олардың сәулесінің жақсы сапасы оны жұқа жолақтық темірді дәнекерлеу үшін пайдалануға мүмкіндік береді. Осындай көздердің артықшылықтары оларды механизацияланған жүйелерде орнату мүмкіндігі және олардың төмен құнында жатыр.

Өстік баяу ағыны бар лазерлік көздер

Бұл CO₂-лазердің зерттелген бірінші көздері. Газ лазерлік сәуленің өсі бойынша түтіктерде баяу циркуляциядайды (10 м/с). Газды қоздыру электр разрядымен қамтамасыз етіледі. Осы лазерлік көздер өте жақсы сападағы сәулені шығарады, бірақ олардың қуаттылығы көлем бірлігіне 0,5 Вт/см³ дейін шектелген.

Осы лазерлік көздердің ең жоғары қуаттылығы төмен (≤ 1000 Вт). Оларды жұқа материалдарды дәнекерлеу және кесу үшін пайдалануға болады.

Тез өстік ағыны бар лазерлік көздер

Газ шыны түтіктерден орындалған турбиналар немесе сорғылар көмегімен сәуленің өсі бойынша жоғары жылдамдықпен жылжиды (≥ 200 м/с). Қозған газ әрі қарай жылу алмастырғыштармен суытылады және біртіндеп қайта генерацияланады. Қозу электр разрядымен қол жеткізіле алады, бірақ ең соңғы көздер радиожиілікті пайдаланады. Осы қозу режимі бірнеше артықшылықтарға ие:

- барынша біртекті қозу,
- сыртында орналасқан электродтар әсерге аз ұшырайды және оларға қызмет көрсету шағылдырғышты ашуды талап етпейді,
- пайдаланудағы үлкен икемділік.

Газ көлемінің бірлігіне алынатын қуаттылық радиожиілікпен қозу үшін 8 ден 10 Вт/см³ дейін және электр разрядын қоздыру үшін 2 ден 3 Вт/см³ дейін жете алады. Барлық кешенді лазерлік көздер шағылдырғыштың формасын азайту жолымен алады. Қазіргі өнеркәсіптік нарықта қуаттылығы 20 кВт көздер ұсынылады.

Бұл қазір барынша жиі пайдаланылатын лазерлік көздер. Олармен кесетін және дәнекерлеу аппараттары жабдықталған.

Көлденең ағыны бар лазерлік көздер

Газ ағыны бір немесе бірнеше турбиналардың арқасында лазерлік сәуленің өсіне көлденең қозғалады. Олар шыны түтіктерді пайдаланбайды. Шағылдырғыш герметикалық металл камерада тұрады.

Газдың көлемінің бірлігіне қуаттылық 2 ден 3 Вт/см³ құрайды. Ең жоғары қол жеткізілген қуаттылық – жоғары (45 кВт-қа дейін). Алынған лазерлік сәуле тез өстік ағыны бар лазерге қарағанда барынша төмен сапасына ие. Осындай сәулелер негізінен бетін өңдеу немесе дәнекерлеу үшін пайдаланылады.

SLAB-лазерлер деп аталатын көздер

Параллелепипедті шағылдырғыш сәуленің тікбұрышты конфигурациясын өндіреді. Әрі қарай сәуле оны циркулярлы ететін кеңістікті фильтр арқылы өтеді. Газ шағылдырғышта баяу қозғалады. Газдың қозуы радиожиілік бойынша жүзеге асырылады. Қолжетімді қуаттылық 100 Вт-тан 6 кВт-қа құрайды. Бұл технология барынша жоғары тиімділігі бар ықшам көздерді өндіруге мүмкіндік береді. Газды тұтыну деңгейі төмен және өндірілген сәуленің сапасы өте жақсы (TEM00 Гаусс сәулесіне жақын).

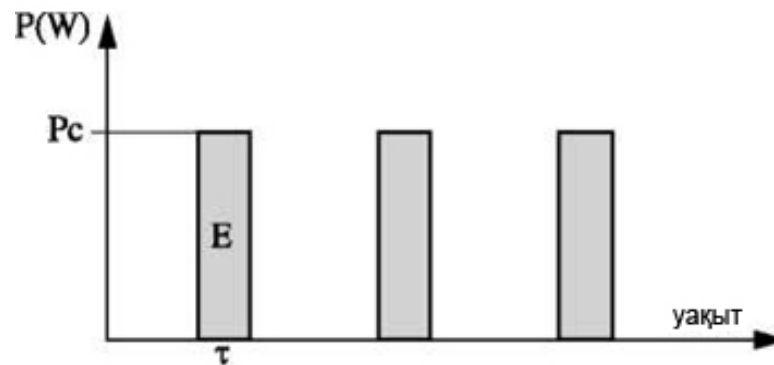
2.2.3.2. Неодимді YAG-лазер көздері

Бұл неодимнің легирленген иондары, гранатты иттрий-алюминийлі монокристалдан белсенді ортасы бар қатты денелі лазер (Nd^{3+}). Аталмыш лазердің толқынының ұзындығы 1,06 мкм-ге тең, оптикалық талшық бойынша тасымалдауға мүмкіндік береді. Бұл төмен көлемді монокристалл (мысалы, ұзындығы 150 мм және диаметрі 9,52 мм шыбықша) шағылдырғыш жазыққа орналастырылады. Ортаны қоздыру ксенон шамдарымен немесе лазерлік диодтармен қамтамасыз етіледі. Лазердің электр тиімділігі айдау жүйесіне байланысты, шамдық айдауы бар жүйе үшін 1-3% және лазерлік диодтар үшін шамамен 10%. Жүйені суыту шағылдырғыштағы судың циркуляциясымен қамтамасыз етіледі.

Неодимді YAG-лазердің жұмысының екі режимін атап өткен жөн: импульсті және үздіксіз.

YAG-лазердің импульсті көздері

YAG-лазердің импульсті көздері әдетте айдау модулінен тұрады, ол 300 ден 500 Вт-қа дейінгі диапазондағы орташа қуаттылықты қамтамасыз етеді. Осы YAG-лазерлер осы модульге ретті қосылған күшейтудің қосымша айдау модульдерін қоса отырып, 2 кВт қуаттылыққа дейін орташа жете алады. Жұмыстың импульстік режимі импульстік шамдармен қамтамасыз етіледі, олар әр импульспен импульс ұзақтығын және белгілі бір жиілікпен оптикалық үн қатуды генерациялайды. Лазерлер деректерінің жұмыс режимі 2.4-суретте сызбалық бейнеленген.



2.4-сурет. Импульстік YAG-лазерінің режимі

Импульстік YAG-лазердің сипаттамалары оның шектік қуаттылығымен байланысты, ол 50 кВт-қа жете алады. Лазердің әр түрлі параметрлері арасындағы арақатынастар мынадай түрде көрсетіледі:

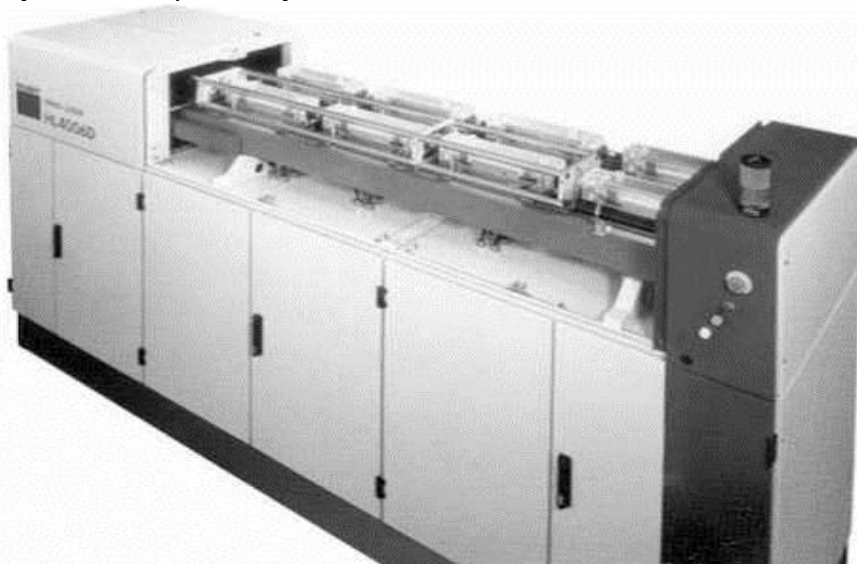
- шектік қуаттылық: $P_c = \frac{E}{\tau}(W)$;
- орташа қуаттылық: $P_m = E \times F(W)$;
- импульстың ұзақтығы: $\tau(ms)$;
- импульстің энергиясы: $E(J)$;
- импульстер жиілігі: $F(Hz)$.

Жоғары шектік қуаттылықтар кесу немесе бұрғылау бойынша жұмыстарға арналады. Дәнекерлеу үшін шектік қуаттылық шектелуі тиіс және дәнекерлеуге жататын қалыңдық және материалға байланысты болады. Ол 4 кВт-тан аспауы тиіс. Жоғары шектік қуаттылықты пайдалану материалды бүркуге әкеледі. Осы себепті дәнекерлеуге арналған көздердің

орташа қуаттылығы 500 Вт-қа дейін шектелуі тиіс. Үлкен қуаттылығы бар көздер тек жоғары жиілікті импульстер үшін ғана пайдаланылады. Сапалы болат дәнекерлеу үшін кез келген жағдайда өту тереңдігі 1,5 мм-ге шектелуі тиіс.

YAG-лазердің үздіксіз көздері

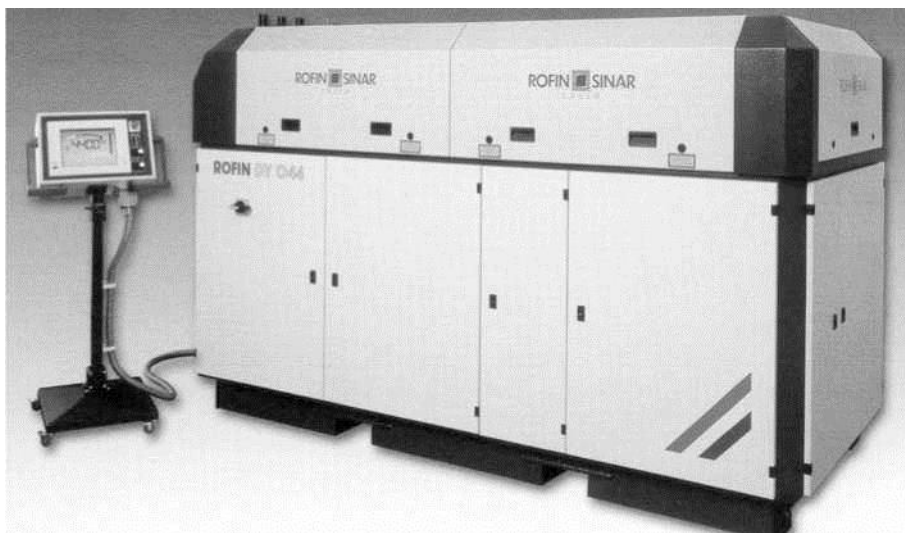
YAG-лазердің импульсті көздерінен кейін әзірленді. Ортаны қоздыру жұмыс істейтін ксенондық шамдармен қамтамасыз етіледі. Қол жеткізілген орташа қуаттылық YAG-лазердің импульстік көздері жағдайындағыға қарағанда жоғары: 4 - 5 кВт. Импульстік режим және үздіксіз режим арасындағы маңызды айырмашылық шектік қуаттылықта жатыр. Үздіксіз режим жағдайында шектік қуаттылық орташа қуаттылыққа тең.



2.5-сурет. *Үздіксіз шамдық айдаумен YAG-лазерінің шыбықшасын айдау камералары (Сәуленің орташа қуаттылығы 4 кВт) (Trumpf құжаты)*

Ағымдық зерттеулер негізінен айдау жүйелері және аталмыш көздердің қуаттылығын ұлғайтуға бағытталған (2.5-суреттім қараңыз). Қуаттылықты ұлғайту айдау камераларының санын ұлғайтумен қол жеткізіледі (резонаторлар және күшейткіштер). Цилиндр шыбықтары бар және шаммен айдаумен цилиндрлік шыбықтары бар әдеттегі лазерлік көз жағдайында айдау камераларының қазіргі уақытта ретті қосылған ең жоғары саны сегізге тең. Бұл шектеу негізінен сәуленің сапасының нашарлауымен байланысты. Өнеркәсіптік үздіксіз YAG-лазерлердің сәулесінің сапасы шамамен 25 мм мрад, диаметрі 0,6 мм оптикалық талшық бойынша 4 кВт-тан артық лазерлік сәулені тасымалдауға мүмкіндік береді.

2000 жылы зерттеулер диодты айдаумен неодилі шыбықшалардың YAG-лазері көздері саласындағы мүмкіндіктердің үлкен әлеуетін ашты (2.6-суретті қараңыз). Лазерлік диодтармен айдау жүйесі жақсы тиімділікті ($\geq 10\%$) және сәуленің айқын сапасын жақсартуды (15 мм.мрад) қамтамасыз етеді.

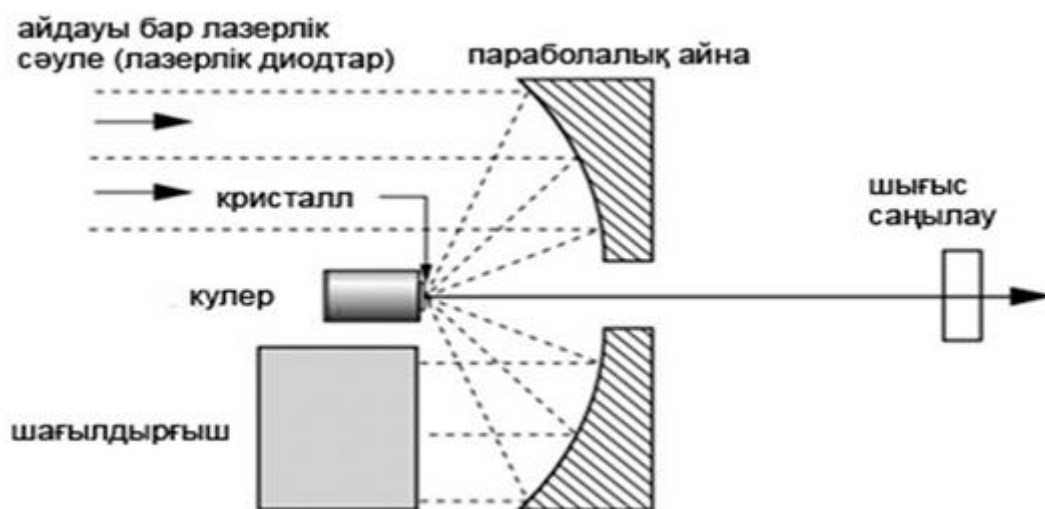


2.6-сурет. Қуаттылығы 4,4 кВт YAG-лазер көзі, диодты айдауы бар лазерлік шыбықшаларды пайдаланады (Rofin Baasel құжаты)

Диодты айдауы бар лазерлік көздерді әзірлеу YAG-лазер көздерін технологиялық дамыту кезеңі болды, бірақ өнеркәсіпте олар пайдаланылмады. Олар айдау үшін пайдаланылатын диодты лазердің сенімділігімен байланысты ауқымды техникалық мәселелермен ұшырасты. Бүгінде олар талшықты лазерлік көздермен және диодты айдаудың дискі көздерімен, лазерлік көздердің жаңа типтерімен ауыстырылды.

Дискі лазерлік көздер

Диодты айдаумен дискі лазерлік көздер үшін белсенді орта кіші өлшемді YAG-дисктерден тұрады (2.7-суретті қараңыз). Қазір өнеркәсіпте сәуленің өте жоғары сапасы бар 8 кВт-қа дейінгі қуаттылықты және жоғары тиімділікті лазерлік көздер қол жетімді (0,8 мм. мрад). Шыбықшалы жүйелерден айырмашылығы дискік лазердің жылу линзасы жоқ. Бұл сәуленің сапасы қуаттылықтың барлық диапазонында тұрақты болып табылатынын білдіреді. Жақын болашақта барынша қуатты лазерлік көздерді әзірлеу күтіледі (16 кВт). Осы лазерлік көздерді пайдаланумен сәуленің ерекше қасиеті диаметрі 0,2 мм оптикалық талшықтағы 8 кВт-қа дейінгі қуаттылықты сәулені тасымалдауға мүмкіндік береді.



2.7-сурет. Диодты айдауы бар дискі лазерлік көздің резонаторлық сызбасы (Trumpf құжаты)

Талшықты лазер көздері

Бұл жаңа лазерлік көз өнеркәсіптік қолдану үшін жақында әзірленген. Бастапқыда ол 1990 жылдардың басында телекоммуникациялық сала үшін әзірленді. Оны күшейтудің

белсенді ортасы – бұл иттербий сияқты сирек элементпен қосындыланған оптикалық талшық. Бұл лазерлік көз типі сәуленің өте жақсы сапасы бар жоғары шығыс қуаттылығын бере алады (20 кВт-тан артық). Қол жеткізілген тиімділік шамамен 25%.

2.2.3.3. Жартылай өткізгіш лазер көздері (немесе лазерлік диодтар)

Жартылай өткізгіштерді төсеу бірнеше ондаған ваттан бірнеше киловатқа дейінгі лазерлік диодтар жүйесін алуға мүмкіндік береді. Толқындардың қол жетімді ұзындықтары 0,808 және 0,940 мкм. Осы пакеттен шығатын сәулелердің көпшілігі оларды біріктіру үшін күрделі оптикалық жүйелермен өңделеді. Алынатын сәуленің төмен сапасы сәулені оңтайлы фокустеуге жағдай жасамайды. Тік бұрышты және ірі фокусты нүкте 105 Вт/см² төмен өңделетін бөліктегі меншікті қуаттылықты генерациялайды, ол құлыптық ұңғыманы дәнекерлеу үшін жеткіліксіз.

Осы қасиеттер оны кондуктивті дәнекерлеу немесе бетті өңдеу, дәнекерлеу, синтетикалық материалдарды дәнекерлеу үшін оны мінсіз құрал етеді. Осы технологияның ерекше артықшылығы оның жоғары энергия тиімділігінде (>25%), көздердің ықшамдылығында, төмен пайдалану шығындарында (шамдардың немесе генерациялаушы газдың болмауы) және толқындардың шағын ұзындықтарында (оптикалық талшық бойынша мүмкін ауысу және металл материалдардың жақсы сіңіруі) жатыр. Лазерлік сәулені фокустеуді жақсартуға мүмкіндік беретін оптикалық жүйелерді әзірлеулер лазерлік көздердің деректерін пайдалануды түпкілікті өзгертеді.

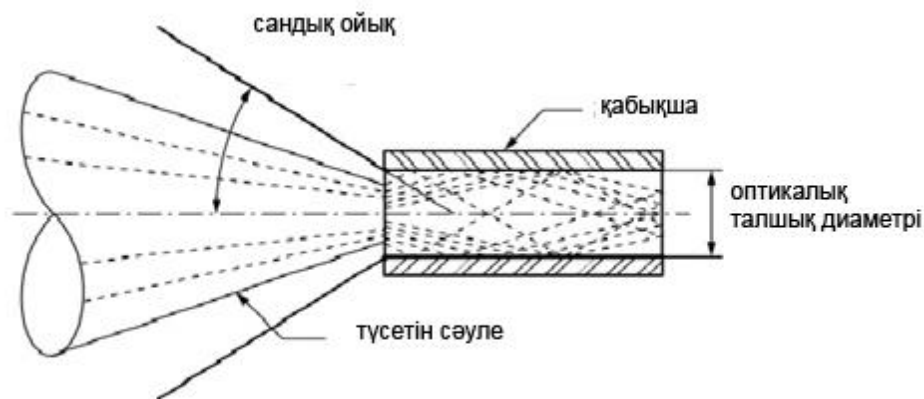


2.8-сурет. Диодты лазерлік көз (Rofin Baasel құжаты)

2.2.4. Лазерлік жүйелер

2.2.4.1. Лазерлік сәулені тасымалдау

Лазерлік көзден сәулеленетін сәуле ең аз шығындармен пісірілетін компонентке тасымалдануы тиіс. Тасымалдаудың пайдаланылатын жүйелері және фокустеу лазерлік сәуленің толқынының ұзындығына байланысты. YAG-лазердің неодилі сәулелері оптикалық талшық көмегімен тасымалдана алады, онда СО₂-лазер тек айналар көмегімен ғана тасымалдана алады. Бұл жағдайда оптикалық жол сәуленің сапасының мүмкін нашарлауы және айнаның нашарлауын болдырмау үшін шектелуі және қысымда болуы тиіс.



2.9-сурет. Лазерлік сәулені оптикалық талшыққа енгізу; [HAV 96]

Оптикалық талшық барынша аз диаметрде болуы тиіс. Сәуленің сапасы мәнге ие. YAG-лазерінің импульстік сәулелері, орташа қуаттылығы 400 ден 500 Вт-қа дейін, диаметрі 400 мкм талшыққа енгізіле алады, қуаттылығы 4 кВт шамдармен айдаумен үздіксіз YAG-лазерлер диаметрі 600 мкм оптикалық талшықтарды пайдаланады, ал лазерлік диодтарды айдаумен дисктік лазерлік көздер оптикалық талшық диаметріндегі қысқарту артықшылығын қолданады (сәуле 8 кВт диаметрі 200 мкм оптикалық талшықты пайдаланумен). Қуат шығындары 10% аз оптикалық талшыққа шектелген.

CO₂-лазердің сәулесін тасымалдау үшін барынша жиі пайдаланылатын айналар таза мыстан, алтындатылған мыстан дайындала алады немесе молибденмен жабылған. Алтындатылған мыс оның өте төмен абсорбциялық қасиеттерінен бағаланады, бірақ ол сынғыш және қымбат. Таза мыс сондай-ақ төмен абсорбцияға ие және салыстырмалы қымбат емес, бірақ ол тотығуға бейім. Молибденмен жабылған мыс аса төзімді, бірақ оның шағылдырғыш қасиеттері басқаларына қарағанда төмен. Айналарды таңдаудың нақты ережелері жоқ. Дегенмен дәнекерлеу түтіні және дәнекерлеу бедерлерінің әсеріне ұшыраған фокустеуші бастиектер үшін алтындатылған немесе таза мысты пайдалануды болдырмау ұсынылады. Қысымда оптикалық тасымалдау таза мыс айналардан (аса қымбат емес), алтындатылған мыс айналардан (жақсы шағылу) немесе молибден жабыны бар айналардан (берік, бірақ барынша сіңіретін) тұра алады.

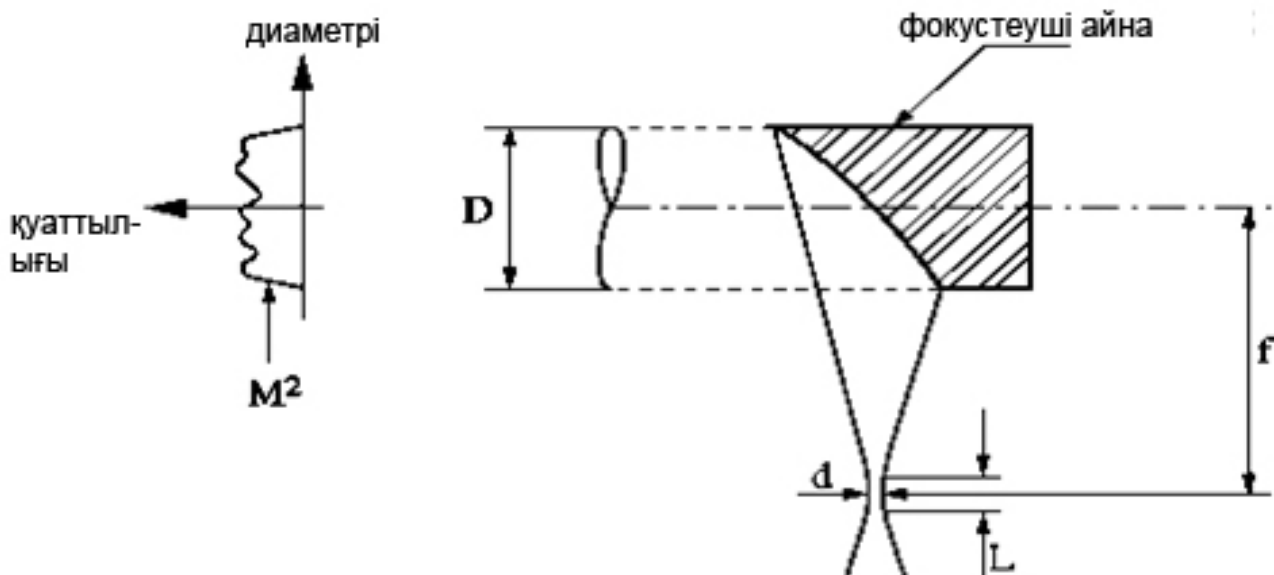
2.2.4.2. Фокустеу

Лазерлік сәуле дәнекерлеу үшін қажетті қуаттылық тығыздығын алу үшін өңделетін бөлікте фокустелуі тиіс. YAG-лазердің сәулелері әдетте шыны линзалар көмегімен фокустеледі. CO₂-лазердің сәулелері, олардың қуаттылығы 3 кВт-тан аз немесе тең, селен-мырыс линзалар немесе айналарды пайдаланумен фокустеле алады. CO₂-лазердің сәулелері үлкен қуаттылықта әдетте тек айналарды пайдаланумен фокустеледі. Бұл таза немесе алтындатылған мыс, молибденмен жабылған мыс немесе қатты молибден бола алады. Алтындатылған мыс, негізінен оның сынғыштығынан оптикалық фокустеуші бастиектерді дайындауда ұсынылмайды.

Фокустелген сәуленің өлшемдері, оның сапасы және фокустеудің пайдаланылатын жүйесі, сәуле толқынының ұзындығына байланысты. Фокальды нүктенің диаметрі осы параметрлермен келесі теңдеумен байланысты:

$$d = M^2(4\lambda f / \pi D), \text{ мұнда}$$

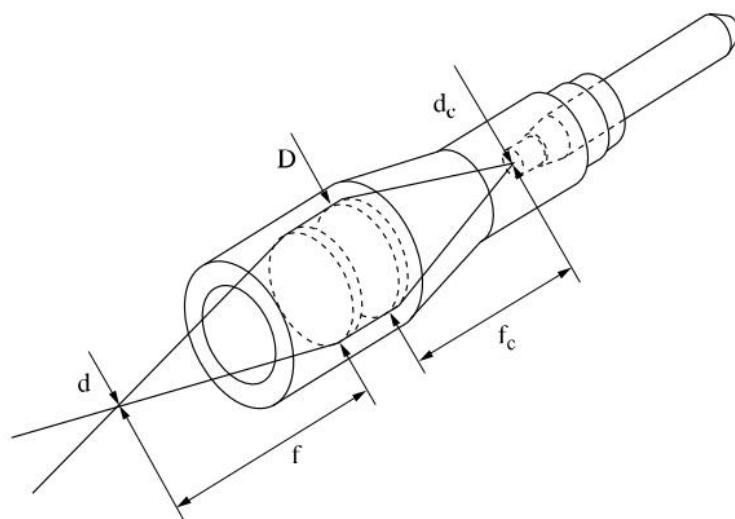
- d: фокальді нүктенің диаметрі,
- M²: сәуле сапасының коэффициенті,
- λ: толқын ұзындығы,
- F: оптикалық жүйенің фокустық қашықтығы,
- D: фокустеу алдындағы сәуле диаметрі.



2.10-сурет. Лазерлік сәулені фокустеу; [HAY96]

YAG-лазерлері жағдайында фокальды нүктенің диаметрі басты түрде оптикалық талшық диаметріне және коллимациялық және фокустеуші жүйеге байланысты болады (2.11-суретті қараңыз), ол оптикалық талшық диаметрін кеміту маңыздылығын түсіндіреді:

$$d = \left(\frac{f}{f_c}\right) d_c$$



2.11-сурет. YAG-лазерін фокустеу. [HAY 96]

Өлшемге қатысты фокальды нүктенің басқа маңызды қасиеті L жолының тереңдігі болып табылады. Ол сәуле диаметрі 5% артыққа ұлғаятын аймақ ретінде анықталады. Ол келесі түрде көрсетіле алады:

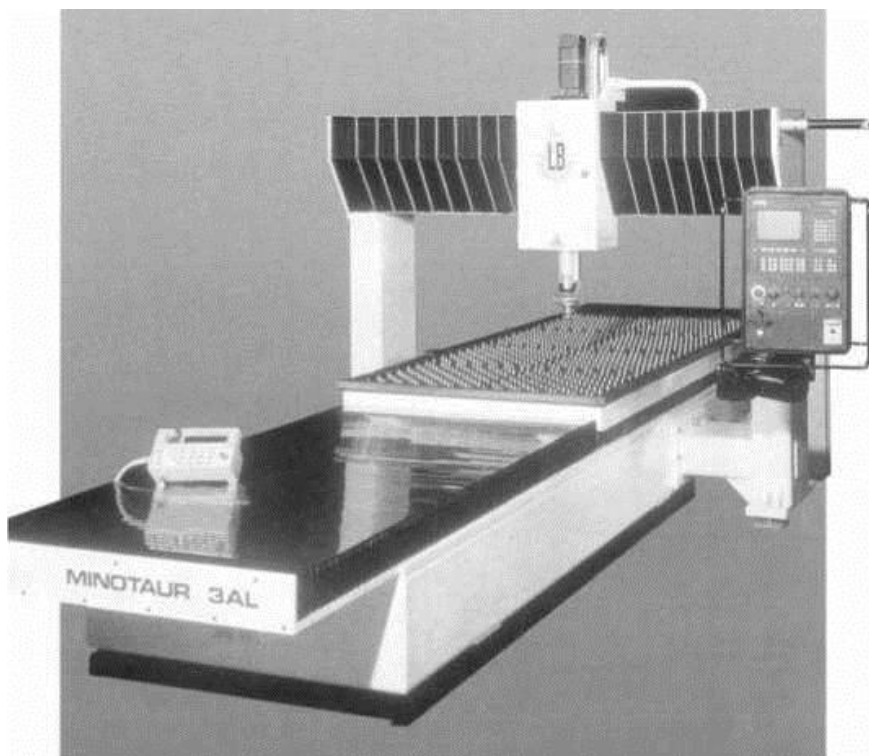
$$L \cong \frac{d^2}{2\lambda M^2}$$

Фокальды нүктенің диаметрінің рұқсат етілетін мәнінің $\pm 5\%$ шегінде болып қуаттылықтың соңғы тығыздығын өзгерту 10% аспайды. Әрі қарай біз дәнекерлеу үдерісі үшін аталмыш белгінің маңыздылығын қарастырамыз.

2.2.4.3. Өңделетін бөлікті және сәулені ауыстыру жүйесі

Өңделетін бөлікті және/немесе сәулені ауыстырудың әр түрлі механизацияланған

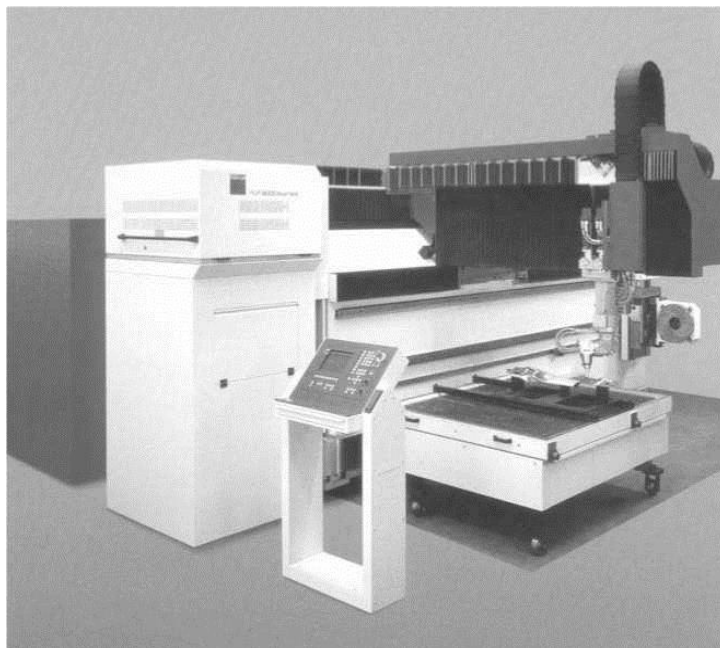
жүйелері бар. Осы жүйелер экономикалық пайымдаулармен және пісірілетін бөліктер өлшемімен, пайдаланылатын лазерлік көз типіне сәйкес әзірленеді. Лазерлік сәулемен кесуден айырмашылығы дәнекерлеу аппараттары көбіне белгілі бір қолдануға арналған. Шығындарды төмендету үшін өндірушілер стандартталған түйіндерден тұратын білдектер немесе каталог бойынша барынша көп білдектерді ұсынады.



2.12-сурет. Аралас үш өсті жүйе (Balliu құжаты)

Ең қарапайым компонентер үшін бекітілген оптикасы бар машиналар пайдаланылады. Компоненттер фокустелген сәуледе ауыстырылады. Тек фокустеуші оптика фокалды нүктені жағдайды реттеу үшін тік ауысады немесе бөлікті түсіру және тиеуді жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Қарапайым қолданудың осы типі үшін оптикалық жол оптикалық талшықтарды пайдалануды ақтамайды.

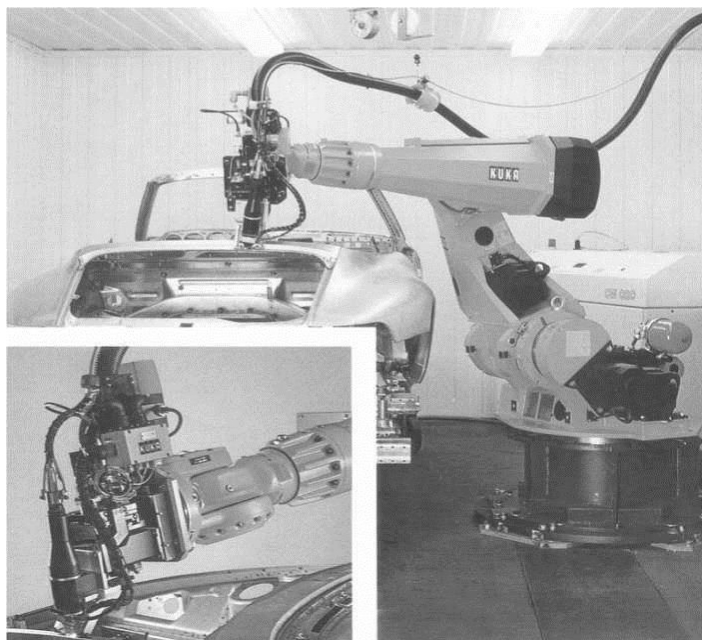
Барынша күрделі траектория үшін қозғалыстың бірнеше өстері бар роботталған жүйелерді пайдалануға тура келуі мүмкін. Екі тип бар: декартов роботтар немесе көптеген буындары бар роботтар. Негізінен декартов роботтар СО₂-лазерлер жағдайында айналарды ауыстыру үшін пайдаланылады. Они могут включать до пяти осей движения. Осы жоғары тоқты механикалық жүйелер қымбат және оптикалық жолды дәл жобалауды талап етеді (2.12 және 2.13-суретті қараңыз).



2.13-сурет. Мобильді оптикасы бар бес өстік жүйе (Trumpf құжат)

Оптикалық талшықтар бойынша сәулені тасымалдау және YAG-лазерінің қуатты үздіксіз көздерін әзірлеу дәнекерлеу жұмыстары үшін полиморфты роботтарды пайдалануды кеңейтті. Олардың дауланбайтын артықшылығы бес өстік декарттық жүйелермен салыстырғанда монтаждың бәсекеге қабілетті құны болып табылады. Қазіргі уақытта қолданулар негізінен автомобиль шанақтарын дәнекерлеуде жүргізіледі (2.14-суретті қараңыз).

Осы роботтар порталдық жұмыстарға қарағанда позициялаудың аз дәлдігін ұсынады, бірақ осы кемшілік нақты уақыттағы траектория мониторингі жүйелерін пайдаланумен өтеле алады.

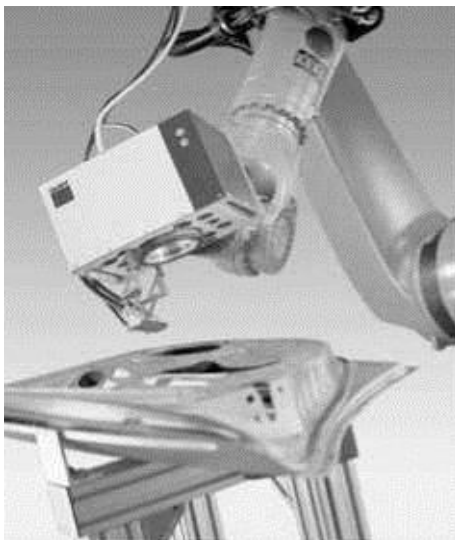


2.14-сурет. YAG- лазері үшін оптикалық талшықтармен жабдықталған алты өстік робот (Kuka құжаты)

Бұл роботтар қашықтықтан дәнекерлеу жүйесімен жабдықтала алады (2.15-суретті қараңыз). Осы технология өңделетін бөліктен алыс қашықтықта дәнекерлеуді мүмкін етеді. Осы қашықтықтан болатын үдерісте жоғары сапалы жаңа лазерлік көздер пайдаланылады (дискті лазердің және талшықты лазердің көздері).

2.2.4.4. Шеткі жүйелер

Шеткі жүйелер — бұл роботтың жұмысын жеңілдетуге (дәнекерлеу қосылыстарын бақылау жүйесі) және орындалатын дәнекерлеу жіктерін (инфрақызыл термография, плазманы талдау) бақылау үшін лазерлік жүйенің дұрыс қызмет етуін бақылайтын құрылғылар (қуаттылықты өлшеу, сәулені талдау және т.б.).



2.15-сурет. Дәнекерлеудің қашықтықтан лазерлік жүйесімен алты өсті робот (Trumpf құжаты)

Қуаттылықты өлшеу

Лазерлік көздер қуаттылықты өлшеудің ішкі жүйесімен жабдықталған. Ол сәуленің сәулеленетін көзіне қатысты көрсеткіштерді береді. Қуаттылықтың бұл мәні оптикалық жолдағы мүмкін шығындарды ескермейді. Сыртқы өлшеу жүйелері компонентті алаңдағы сәуленің қуаттылығын өлшеу үшін қол жетімді. Бұл жүйелер дәнекерлеу кезінде қуаттылықты өлшеуге мүмкіндік бермейді, сол себепті дәнекерлеу кезінде көрсеткіштер беруі мүмкін ішкі өлшеу жүйелері үшін қосымша болып табылады.

Сәулені талдау

Лазерлік сәулемен дәнекерлеу кезінде фокустелген сәуле дәнекерлеу құралын құрайды, сол себепті оның қасиеттерін дәл түсіну маңызды. Эмпирикалық әдістер фокустеу аймағының диаметрін және жағдайын есептеуге мүмкіндік береді. Осы әдістерді пайдалану күрделілігі лазерлік сәуленің қуаттылығын ұлғайтумен артады.

Лазерлік сәуленің қасиеттерін жоғары тоқты анықтау үшін құрылғылар әзірленді. Осы құрылғылардың әрекеттер қағидаты фотодиодтар көмегімен оны талдау және сәуленің бөлігін іріктеуге негізделген. Осылайша, 10^7 Вт/см² қуаттылықты тығыздығы бар 20 кВт-қа дейінгі сәулелерді орташа талдауға мүмкіндік береді.

Дәнекерлеу жіктерін мониторингтеу

Лазерлік дәнекерлеудің негізгі артықшылықтарының бірі оның жоғары жылдамдығы болып табылады. Осы артықшылық егер ақау жігі уақытында анықталмаса тез арада кемшілік болуы мүмкін. Бұл бөліктердің үлкен мөлшерлерін бракқа шығаруға әкелуі мүмкін. Осылайша, ақауларды барынша тезірек анықтау үшін өндірістік сызықтағы дәнекерлеу жіктерін мониторингтеуді өткізу қажет. Ол үшін бірнеше әдістер қолданыладықызы.

Инфрақызыл термография – бұл инфрақызыл камераның дәнекерлеу жігінің артқы бөлігін дәнекерлеу ваннасына өте жақын қашықтықта сканерлеуі. Температуралық изотермдерде белгіленген ауытқулар дәнекерлеу ақауының түзілуін белгілеуге мүмкіндік береді. Бақылаудың аталмыш әдісі аномалиялардың болуы бойынша көрсетілімдер береді, бірақ дәнекерлеу жігінің сапасы туралы ақпарат бермейді. Ол мониторингтеудің басқа әдістеріне қосымша пайдаланыла алады. Осы әдісті бақылау қиын, өндірістік желіні мониторингтеуге жақсы келмейді.

Плазмалық талдау – бұл дәнекерлеу ваннасы және плазма эмиссиясын талдаудан тұратын әдіс. Деректерді іріктеу оптикалық жолда орналасқан оптикалық компоненттер немесе оптикалық талшықтар көмегімен лазер-материал түйіспесінің бетіндегі деңгейде

жүзеге асырылады. Пайдаланылатын датчиктер фотодиодтарды құрайды, олардың сезімталдық жолдары ультракүлгін (плазманың сәулеленуі), көрінетін немесе инфрақызыл диапазонда (дәнекерлеу ваннасының сәулеленуі) орналасуы мүмкін. Сигналды талдау дәнекерлеу жігінің ақауларының пайда болуы бар анықталған оқиғаларды салыстыруға мүмкіндік береді. Осы құрылғылар нақты уақытта ақаулардың түзілуін анықтау және берілген деңгейдегі дабылды белсенділендіруге мүмкіндік береді. Тұйықталған цикл бойынша бақылау әзірлеу кезеңінде болады.

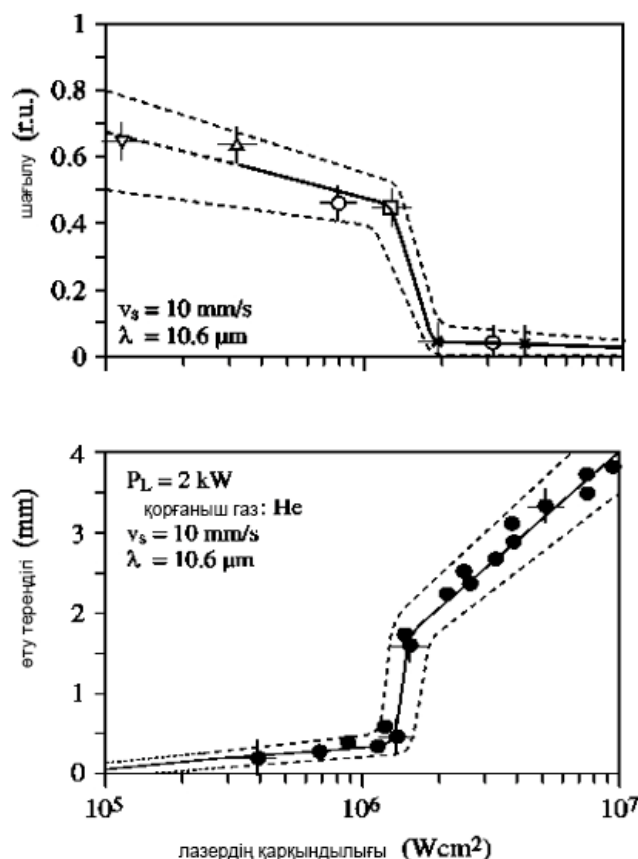
Дәнекерлеу жігін қадағалау жүйесі

Әдеттегі дәнекерлеу үшін бастапқыда әзірленген жікті қадағалау лазерлік дәнекерлеу үшін бейімделді. Лазерлік триангуляция әдісі қалыпты көрудің бұзылу шарттарындағы дәнекерлеу қосылысының жағдайын сенімді анықтауға мүмкіндік береді (булану, бедерлер, жоғары сәулеленетін плазма). Жүйелердің көпшілігінде компьютерлендірілген үлгімен салыстырылатын лазерлік сызықты проекциялау пайдаланылады [BOI 98]. ПЗС-камералардың көмегімен визуализациялау қазіргі уақытта лазерлік триангуляцияның бәсекеге қабілетті баламасы ретінде ұсынылады.

2.2.5. Дәнекерлеуде лазерлік сәулесін пайдалану

Лазер – материалдың өзара әрекеті

Лазерлік сәуле $5 \cdot 10^5$ және $5 \cdot 10^6$ Вт / см² диапазондағы қуаттылық тығыздығын алу үшін бөліктің бетінде фокустеледі. 2.16-сурет булы капилляр немесе құлыптық ұңғыманы құру үшін қуаттылық тығыздығының шегі бар екенін көрсетеді.



2.16-сурет. Лазерлік сәуленің қарқындылығына қатынасы бойынша коэффициент және жұтылу тереңдігі. [HER 86]

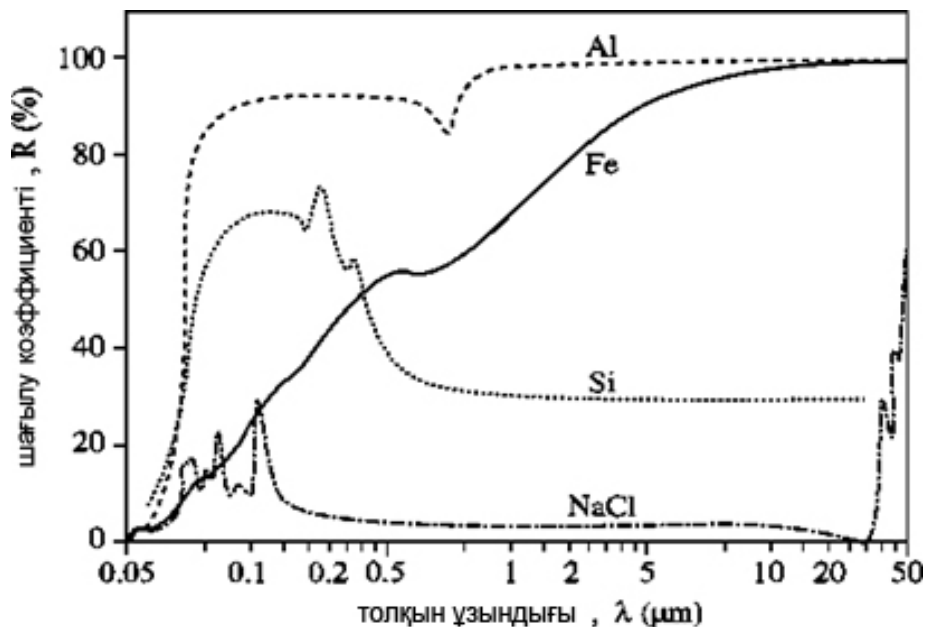
Қуаттылықтың тығыздық шегі келесі коэффициенттердің функциясы болып табылады:

- материалды дәнекерлеуге жататын қасиеттер,
- лазерлік сәуленің толқын ұзындығы,

- қорғаныш газ,
- өңделетін бөліктің бетінің сапасы.

Материалдың қасиеті булы капилярды құруда үлкен рөл атқарады. Күміс, алтын, мыс қорытпалар және алюминий қорытпалар сияқты материалдар сіңірілудің төмен коэффициенттерінен лазерлік сәулемен дәнекерлеуге қиын беріледі.

2.17-суретте YAG-лазердің және лазерлік диодтық сәулелердің олардың сәулелерінің ұзындығынан CO₂-лазерге қарағанда металл материалдармен жақсы сіңірілетіні көрсетілген. Көрініп тұрғандай, толқын ұзындығы сіңірілудің төмен коэффициентіне ие бола алады.



2.17-сурет. [ROE 86]-дан толқын ұзындығына қатысы бойынша сәуленің жұтылуы

Материалдың жұтылуының төмен коэффициенті қуаттылықтың жоғары тығыздығымен өтеле алады. Қуаттылықтың осы жоғары тығыздығын лазердің қуаттылығын ұлғайту, қысқа фокустық қашықтығы бар оптиканы таңдау, жақсы сапалы лазерлік сәулені пайдалану жолымен немесе YAG-лазер жағдайында кіші диаметрлі оптикалық талшықты пайдалану жолымен алуға болады.

Қосалқы газды таңдау бірінші деңгейлі мәнге ие. Газды беруді жақсы бақылау және оның құрамын дұрыс таңдау дәнекерлеу сапасына және дәнекерлеу үдерісіне маңызды әсер етеді.

Қорғаныш газ

Балқытумен дәнекерлеу үдерістерінің басым бөлігі үшін (электронды сәуледен басқа) дәнекерлеу жігінің бетінде қорғаныш газ, сондай-ақ қажеттілігі болғанда дәнекерлеу жігінің артынан талап етіледі. Белгілі бір жағдайларда қорғаныш газын жағу пайдаланылуы мүмкін.

Үш қорғалатын аймақтарды белгілеуге болады: дәнекерлеу ваннасы, тотығу үшін әлі де ыстық болғанда қатайғаннан кейін бірден дәнекерлеу жігінің беті және дәнекерлеу жігінің түбі. Дәнекерлеу ваннасын және булы капилярларды қорғау үшін мыналарды пайдалануға болады:

- коаксиалды бүріккіш,
- көлденең бүріккіш,
- плазманы үру жүйесі.

Коаксиалды және көлденең бүріккіштер төмен шығындағы және атмосфералық қысымдағы газды тасымалдайды (15 тен 30 л/мин лазерлік сәуленің қуаттылығына байланысты). Олар дәнекерлеу ваннасының бұзылуынсыз дәнекерлеу жігін жақсы қорғауды қамтамасыз етеді. Коаксиалды бүріккіш барлық бағытта дәнекерлеуге болатын артықшылыққа ие, ол көлденең бүріккішке тән емес.

Плазмалық ағынды пайдалану кейбір жекелеген жағдайларда қолданылады. Кіші диаметрлі түтікті пайдалану (d=6мм) газдың жоғары шығысы бар бөліктің бетіне

салыстырмалы 35 тен 45°-ке бұрышпен көлбетілген. Бөліктің бетінде бірнеше миллиметрге бағытталған газ ағын газ плазманы үрлейді. Бұл жүйе аз пайдаланылады, себебі ол жақсы газ қорғауды қамтамасыз етеді және дәнекерлеу ваннасын бұзуға бейім.

Негізгі қосалқы газдар гелий және аргонның инертті газдары, сондай-ақ белсенді газ, яғни азот болып табылады. Лазерлік сәулемен дәнекерлеу жағдайында газбен қорғау дәнекерлеу ваннасын ластанудан қорғау рөлін ғана атқарып қоймай, лазер және материал арасындағы өзара әрекетке де қатысады. Осылайша газды таңдау көптеген факторларға байланысты:

- газдардың иондаушы потенциалы,
- лазерлік сәуленің толқын ұзындығы,
- дәнекерлеуге жататын материалдың қасиеті.

Қуаттылықтың жоғары тығыздығына ұшыраған газдар көп немесе аз жеңіл иондалады. Потенциалы жоғары иондайтын гелий (24,46 эВ) лазерлік сәуленің толқынының ұзындығына қарамастан аса қарқынды емес және жеткілікті өтетін плазманы тудырады. Маңызды мәселелерсіз 45 кВт қуаттылыққа дейін пайдалануға болады. Иондау потенциалы төмен аргон және азот (Ar: 15,68 эВ және N₂: 15,51 эВ), сәуле және материалдың өзара әрекетіне кедергі жасайтын қарқынды плазманы тудырады. СО₂-лазер сәулесінің жағдайында осы газдарды пайдалану ≤5 кВт қуаттылықпен шектелетін болады. Дәнекерлеу қасиеттері тұрғысынан гелий ең тар дәнекерлеу жіктері және аргон және азотпен салыстырғанда дәнекерлеу жігінің ең терең өтуін қамтамасыз етеді. Гелиді аргонға қосу аргонмен генерацияланатын плазманың теріс әсерін шектеуге мүмкіндік береді. Нарықта коммерциялық қоспалар бар (гелий-аргон), атап айтқанда лазерлік сәулемен дәнекерлеу үшін. Осы қоспалар 10 кВт-қа дейінгі қуат үшін пайдаланыла алады.

Неодилі YAG-лазер жағдайында газды таңдау маңызды емес. Бірінші алынған деректер аргонды немесе неодилі YAG-лазермен немесе талшықты лазермен азотты пайдалану 10 кВт дейінгі қуаттылықта мүмкін екенін көрсетеді.

Аргон және гелий, инертті болып пісірілетін материалдың қасиеттеріне байланысты пайдаланыла алады, ол азотқа қолданылмайды. Соңғысы пісірілетін материалдарға металлургиялық айналуларға әкелуі мүмкін. Оны цирконий және титанды дәнекерлеу үшін пайдалануға болмайды, себебі ол жинауды бәсеңдететін цирконий нитридтері және титан нитридтерін түзетін болады. Азот сондай-ақ оның гамма гендік әсерінен аустенитті тоттаспайтын болаттан ыстық жарылуға сезімталдықты арттыруды туындата алады (бұл аустениттің түзілуіне, сондай-ақ бастапқы аустениттің қатаюына әкелуі мүмкін). Осы материалдар үшін оны пайдалану үшін ыстық жарылулардың түзілуін болдырмайтын рәсімдерге ұшырату қажет. Алайда, ол тоттаспайтын болаттарда еритін болғандықтан, балқыту аймағындағы кеуектіктің түзілуін болдырмау үшін азотты кейбір артықшылықтармен пайдалануға болады [BAR 98]. Қоспаланбаған және әлсіз қоспаланған болаттар үшін оны пайдалану егер дәнекерлеудің жоғары сапасы талап етілмесе ерекше мәселе тудырмайды.

2.3. Электронды-сәулелік дәнекерлеу

2.3.1. Алдыңғы тарих [FRI 98]

Электронды байламды ең ерте қолданулар Германиядан К.-Х. Штайгервальд және Франциядағы СЕА-нен (Атом энергиясы жөніндегі комиссия) Ж.А. Стор өткізген ғылыми зерттеулерде кездеседі. Соңғы үшін аталмыш жұмыс тотығуға өте сезімтал және дәнекерлеу үшін лайықты уақыт болмаған тотығуға өте сезімтал материалдан, цирконий қорытпасынан дайындалған жанғыш материалдан корпустарды дәнекерлеу бөлігі бойынша өнімді болды. Электронды сәуле өндірісі вакуум шарттарын талап етті, олар әрине тотығудан қорғауды қамтамасыз етті. Осылайша, дәнекерлеу мүмкін болды және бірінші ЭЛ дәнекерлеу жіктері Гинье катод жүйесінің көмегімен алынған фокустелген электронды сәулені пайдаланумен алынды. Осылайша, 1956 жылы патент тіркелді және компаниялар 1960 жылы пайда болған машиналарды құрастыруға лицензиялар алды.

Алғашқы білдектер аз қуаттылықты электронды-сәулелі зеңбіректерге ие болды

(бірнеше киловатт), ол шамамен он миллиметрге дейін дәнекерлеуге болатын қалыңдықты шектеді. Өте жылдам, зеңбіректің қуаттылығы арта алады (1970 жылы 30 кВт), ауыр машина құрылысында немесе қазандықтар өндірісінде кездесетін өте тығыз бөліктерді дәнекерлеуді жүзеге асыруға мүмкіндік берді (40 тан 50 мм-ге дейін).

1980 жылдар ішінде жаңа технологияларды іздеу бойынша жұмыстар жүргізілді және 1980 жылдан бастап 20 ғасырдың соңына дейін Батыс Еуропада 1000 білдектен астам жиналды.

2.3.2. Құрылғы принципі

ЭЛ-дәнекерлеу үдерісінде электрондар дәнекерлеуге жататын бөлікке соғылғанда электрондармен шашырайтын энергия пайдаланылады.

Электронды сәуле

Электрон салмағы $m=9,1 \times 10^{-31}$ кг және теріс электр заряды бар $e=1,6 \times 10^{-19}$ кулондармен сипатталатын бөлшекті құрайды. Онда осы электрон кеңістікке орналастырылады, онда E электр өрісі және V кернеуі бар, ол $F=eE$ күшінің әсеріне ұшырайды. Осы күштің әсерімен электрон v жылдамдығымен қозғалады және салыстырмалы әсерді елемей кинетикалық энергияны сатып алады:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 = eV$$

Егер уақыт бірлігі үшін шығарылған n/t электрондарды, электронды сәулемен тасымалданатын уақыт бірлігін ескерсе, былай болады:

$$W = \frac{1}{2} \times \frac{n}{t} \times mv^2 = \frac{ne}{t} \times V = I \times V,$$

мұнда:

- V : электрондардың жылдамдатылған кернеуі,
- I : сәуленің қарқындылығы.

Меншікті қуаттылығы

Пісірілетін бөліктерге сәуленің әсер ету ауданына сәулемен тасымалданатын қуаттың қатынасы ретінде анықталады. Дәнекерлеуде аталмыш меншікті қуаттылық бірнеше ондаған кВт / мм² құрайды.

Шын мәнісінде, барлық қуаттылық бөлікке әсер ету нүктесі және сәулелену нүктесі арасындағы траекторияға шығыннан әсер ету нүктесінде ауыспайды.

Бірінші шығындар ауа молекулаларымен соқтығысулармен байланысты: ауаның қысымы жоғары болған сайын, олар да айтарлықтай жоғары.

Екінші шығындар саны жағынан аса маңызды емес, себебі олар шамадан тыс сәулеленулермен байланысты, олардың барынша маңыздысы рентгендік сәулелену болып табылады. Осылайша шашырайтын энергия мөлшері аз (~ 1%), бірақ салдарлары қауіпсіздік тұрғысынан маңызды.

2.3.3. Жабдық

Өңделетін бөліктің маңындағы P қысымының мәніне байланысты үш дәнекерлеу әдісі бар:

- $P > 10^{-5}$ мбар: екінші вакуумдік дәнекерлеу,
- $P \sim 10^{-2}$ мбар: бірінші вакуумдік дәнекерлеу,
- $P \sim 1000$ мбар: вакуумсіз дәнекерлеу.

Пайдаланылатын жабдық әрине ерекшеленеді, бірақ олардың барлығы келесі позицияларды қамтиды:

- қараудың өзіндік жүйесі бар электронды-сәулелік зеңбірек,
- пісірілетін бөліктерді, кейде электронды зеңбіректі қамтитын дәнекерлеу камерасы. Осы корпус сондай-ақ бөліктер және зеңбірек үшін ауысу жүйелерін қамтиды,
- зеңбіректегі және камерадағы төмендетілген қысымды алуға арналған агрегат,

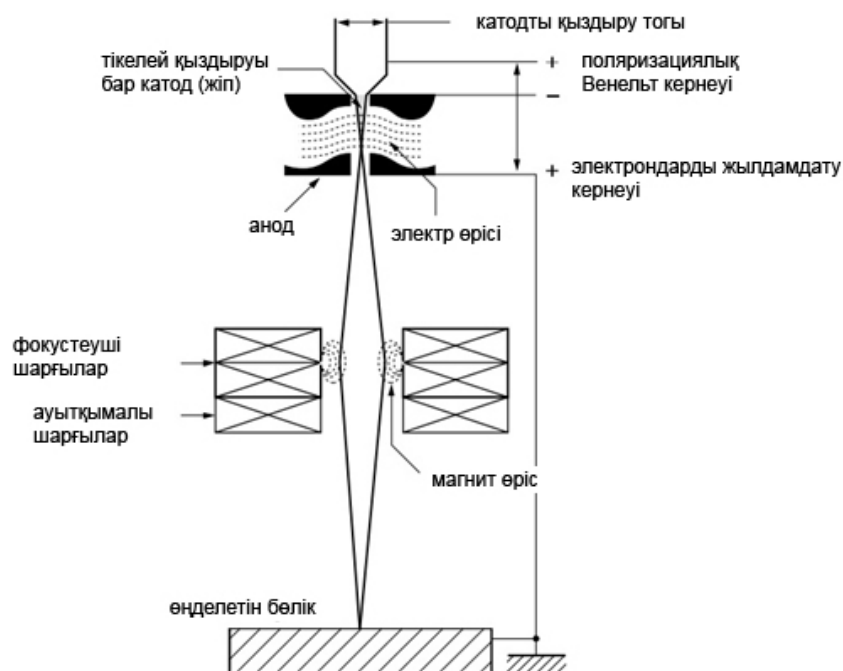
– басқару және бақылаудың сандық сызбалары және қуат блогы.

Электронды зеңбірек

2.18 -сурет қосылатын триодты электрлді зеңбіректер жұмысының принциптерін бейнелейді:

– сәулеленетін материалдан катод: вольфрам, тантал немесе гексаборид лантия. Осы катод вакуум шарттарында, тікелей электр тогымен (электронная пушка с прямым накалом) немесе қыздырылған жіптен алынатын жанама бастапқы электронды сәулемен қыздырылады (жанама қыздыруы бар электронды зеңбірек);

–магнитті емес Венельт, бүркеуіш және әрекет етуші катод, бір жағынан эквипотенциалды беттер формасына және сәйкесінше, сәуленің формасына (электрондар осы беттерге перпендикуляр жылжиды), ал басқа жағынан электрондарды жылдамдату, мұнда ол триодтағы тор рөлін атқарады;



2.18-сурет. Электронды зеңбірек жұмысының қағидаты (Institut de Soudage құжаты)

–электрондарды жылдамдату үшін электр өрісін түзетін Венельтпен салыстырғанда оң зарядқа ие мыс анод. Осы анод электронды сәулеге ол арқылы өтуге мүмкіндік беретін, анодтың шығысында бірден қосылатын, одан кейін олардың ажырауына қарай өзара тебілетін электрондардың әсерімен ажырайтын каналмен орталықта бұрғыланған;

–зеңбірегі бар бір өстегі орамдармен магнитті фокустеуші шарғы. Ол оны кішігірім нүктеде шоғырландырады және ашылатын сәулені шоғырландырады (диаметрде шамамен миллиметр);

–оның өсіне қатысты ауысатын сәулеге мүмкіндік беретін магнитті ауытқытушы шарғылар жинағы (бүйірлік жаймалар, шеңберлік қозғалыс және т.б.);

–телевизиялық камера жүйесі немесе оптикалық визир көмегімен пісірілген қосылыста дәл позициялауға арналған жүйе.

Электродтың геометриясына сәйкес және атап айтқанда, анод геометриясы және Венельт, ең жоғары қол жетімді ток «I» «V» жылдамдатылған кернеуіне, «p» первеанс деп аталатын зеңбіректің қасиетіне сәйкес есептеледі және келесі түрде көрсетіледі:

$$I = p * V^{3/2}$$

Зеңбіректің қуаттылығы дәнекерлеу қажет қалыңдыққа байланысты. Ол 5 тен 100 кВт-қа дейін түрленеді, бірақ орнатулардың көпшілігі қуаттылығы 10 нан 30 кВт-қа дейінгі зеңбіректермен жабдықталған. Жылдамдатылған кернеулерге келер болсақ, олар мұнда, зеңбіректен талап етілетін қуаттылық және өндіруші таңдаған технологияларға байланысты 45 кВ - 150 немесе тіпті 300 кВ диапазонда болады.

Корпустық қоршау және дәнекерлеуді ауыстыру механизмі

Білдек корпусы (вакуумдік камера) өңделетін бөліктен ауыстыру аймағы және олардың құралдары бар пісірілетін бөліктерді қоршайды. Сондай-ақ ол бір немесе бірнеше өстері бар өзінің жүйесімен электронды зеңбіректі ұстай алады. Негізінен білдектің аталмыш корпусы пісірілетін бөліктердің көлеміне сәйкес кішігірім көлемге ие болуы тиіс, бірақ тым үлкен көлем айдаудың барынша ұзақ уақытын талап ететінін түсінген жөн, ол жабдықтың өнімділігіне теріс әсер етеді.



**2.19-сурет. 6 кВт ЭЛС білдегі, өлшемдері
0,6х0,6х0,9 м (Techmeta құжаты)**

Бұдан басқа, білдектің корпусының осы деректері қандай да бір өзгеріссіз жобалануы, ал олардың ішкі бүйірлік қабырғалары газ адсорбциясының әсерлерін шектеу үшін таза болуы және осылайша айдау уақытын қысқартуы тиіс.

Өнеркәсіпте пайдаланылатын корпустардың көлемдері 0,5 м³ ден 1000 м³ (2.19 және 2.20-суретті қараңыз) дейін түрленеді.



**2.20-сурет. 50 кВт ішкі зеңбіекпен ЭЛС білдегі,
өлшемдері 8х5х5м (Techmeta құжаты)**

Білдектердің ірі габаритті корпусын дайындауға мәжбүр болмас үшін вакуумді локальды құрған дұрыс, мұнда дәнекерлеу жігі жасалуы тиіс. Осындай әдістеме әр түрлі

қолданулар үшін 1970 және 1980 жылдар арасындағы кезеңде, соның ішінде қазандықтардағы жалғастыру құбырларындағы немесе құбырлы жылу алмастырғыштардың пластинасындағы құбырлардағы дәнекерлеулер үшін қолданылды. Дегенмен априори қызықты болып көрінгенімен, аталмыш әдістемеден соңыра іс жүзінде бас тартты, себебі оқшауланған вакуумді камералары бар жабдық оны тек бір бөлік типіне қолданудан тым қымбат болды, қолдануға ыңғайсыз болды.

Бөліктердің позициялау және ауыстыруға арналған жүйелер айналатын бөліктерді дәнекерлеуге арналған бір немесе екі өс немесе бұру механизмдерінен үстелді құрайды. Лсы механикалық өстер ЧПУ арқылы бақыланады.

Вакуум құру жүйелері

Негізгі вакуумдегі машиналар үшін айдау блогы стандартты механикалық сорғылардан тұрады (роторлық-қалақты сорғылар немесе бустерлік сорғылар Roots).

Екінші вакуумде жұмыс істейтіндер үшін бір немесе бірнеше майлы диффузиялық сорғылар немесе турбомолекулярлық сорғыларды қосады.

Айдау блогын беру пісірілетін материалдың қалыңдығы және қасиетімен байланысты газсыздандыру және айдау уақыты, айдауға жататын қоршау көлеміне байланысты. Соңғы белгі әсіресе өте тығыз бөліктерді дәнекерлеуде ерекше маңызды. Айдауды аталмыш беру механикалық сорғылар үшін 2000 - 5000 м³/с және майлы және турбомолекулярлық сорғылар үшін 10000 - 20000 л/с жете алады.

Вакуумсіз білдектер немесе төмендетілген қысымда [POW 00]

Бірінші өнеркәсіптік электронды-сәулелік вакуумсіз ЭЛ дәнекерлеу аппараты 1960 жылдардың соңында АҚШ автомобиль өнеркәсібінде пайдаланылды. Жабдықтың осы типінің маңызды сипаттамасы вакуумді камераның болмауы болып табылады, ол жаппай өндіріс үшін өте маңызды, мысалы трансмиссия, гидротрансформаторлар және шығару жүйелерінің компоненттері сияқты автомобиль компоненттерінің болмауы болып табылады. Аталмыш артықшылыққа қарама-қарсы сондай-ақ өңделетін бөлікте жеткілікті қуатты сәуле алу үшін өте жоғары жылдамдатылған кернеуді пайдалану қажеттілігінде кемшілік бар (150 кВ), мұнда ол барлығы бірнеше миллиметрді құрайтын газ атмосферасы арқылы өтеді. Бұл жоғары кернеу күшті рентгендік сәулеленуді генерациялайды және сол себепті білдекте жұмыс істейтін операторларды қорғау үшін оларды аталмыш сәулеленуден қорғайтын корпустармен жабдықтау қажет.

АҚШ-тан айырмашылығы үдерістің осы типі Еуропада аз пайдаланылды. Алайда 1990 жылдан бастап ауқымды технологиялық әзірлемелер төмендетілген қысымда немесе атмосфералық қысымда жұмыс істейтін жаңа жабдықтың пайда болуына әкелді (<1 мбар). Осылайша, осы технологияларға қызығушылық екі салада қайтадан артты: автомобиль өнеркәсібі үшін жұқа табақтарды дәнекерлеу (алюминий панелдерді дәнекерлеу) және радиобелсенді элементтерді сақтау контейнері және газқұбырларға арналған құбырлар сияқты тығыз бөліктерді дәнекерлеу.

ЭЛ-дәнекерлеуді қолдану

Сапалы дәнекерлеу жігін алу үшін келесі параметрлерді мониторингке қажет:

- сәуле шығаратын қуаттылық: сәулениң қарқындылығы және электронның кернеуін жылдамдататын туынды. Қуаттылық пісірілетін бөліктердің қалыңдығына, материалдың қасиеттеріне және оның физикалық ерекшеліктеріне (бір қалыңдықты мысты дәнекерлеу үшін болатқа қарағанда көбірек қуаттылық талап етіледі), сондай-ақ дәнекерлеу жылдамдығына байланысты қолданылады;

- дәнекерлеу жылдамдығы: оны зеңбіректің қуатына байланыты ғана емес, сондай-ақ материалдың металлургиялық пісірілуін анықтау жолымен, яғни оның ақаусыз жік түзу қабілетімен таңдаған жөн (мысалы, ақаусыз);

- білдек корпусындағы қысым: аталмыш параметр бірінші немесе екінші вакуумде немесе жұмысқа арналған жабдықпен байланысты. Кейбір білдектер бастапқы және екінші вакуумде жұмыс істей алады және осы жағдайда қысымды таңдау пісірілетін материалға және оның оттегімен реакцияға түсу қабілетіне байланысты болады (мысалы, цирконий қорытпалар);

- фокустеуші шарғыдағы ток: өте маңызды параметр, себебі ол меншікті қуаттылықты анықтайды және осы арқылы балқытылған аймақтың геометриясына әсер етеді. Аталмыш параметр пісірілетін материал және оның қалыңдығының қасиеттеріне байланысты түрленеді. Осылайша, ол жылдамдатылған кернеу және дәнекерлеу қарқындылығымен байланысты;

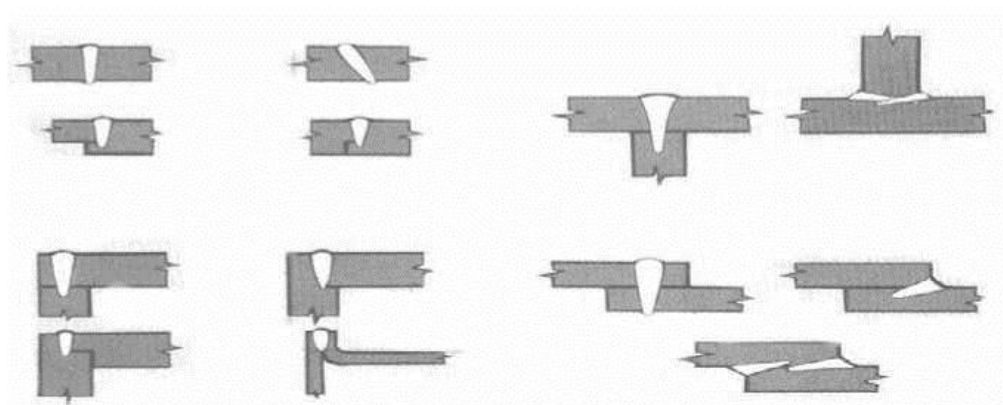
– сәулені ауыстырулар көмегімен сәуленің ауытқуы компоненттің қозғалысын шектей отырып, дәнекерлеу жіктерін орындауға мүмкіндік береді. Мысалы, зеңбірек немесе өңделетін бөліктің қандай да бір қозғалысынсыз кішігірім диаметрлі циркулярлық дәнекерлеу жігін орындауға болады, ол кезде сәуле өңделетін бөлікті өзінің өсі ретінде пайдаланатын конусты сипаттайды;

– сәуле дірілі: ауытқу шарғыларына берілетін сигналға байланысты жылжитын қозғалыстарға сәуле беруге болады (көлденең немесе параллель дәнекерлеу жігіне және циркулярлық немесе эллиптикалыққа формасы бойынша). Сигналға екі параметр қосылады, амплитуда және жиілік, ол балқытылған металды араластыру және тербеліс еніне қатысы бар жиілік. Сәуленің бұл дірілі жұмыс деңгейінде пайдаланылады, ол балқыту аймағын кеңейту үшін және осылайша орында дәнекерлеудегі дәнекерлеу ваннасының сапасын жақсарту үшін жұмыс деңгейінде пайдаланылады. Металлургиялық тұрғыдан ол кейбір материалдарда байқалатын ыстық жағдайдағы жарықты азайтуға көмектесе алады (мысалы, никель қорытпалар) және кеуектікті осы арқылы шектей отырып газсыздандыруға көмектесе алады;

– дәнекерлеу позициясы: тегіс дәнекерлеу позициясы (тік сәуле өсі) толық өту режимімен 15-20 мм қалыңдықпен дәнекерлеу үшін пайдаланылады. Аталмыш шектеу капиллярлық және гравитациялық күш шекараларындағы балқытылған металды қолдайтын беттік созылу күштері арасындағы теңгерімнің жоғалуымен байланысты. Ішінара өту режимінде тегіс жағдайда ең жоғары пісірілетін қалыңдық шамамен болат үшін 130 мм құрайды. Осы шектерден тыс көлденең / тік позицияда дәнекерлеуді пайдалану қажет (сәуле өсі горизонталь). Бұл жағдайда қалыңдық электронды зеңбіректің қуаттылығына байланысты болады. Тігінен жоғары және тігінен дәнекерлеу сондай-ақ қалыңдығы 60-80 мм болатта пайдаланыла алады. Жоғары жағдайда дәнекерлеу үшін ең жоғары қалыңдық тегіс жағдайда дәнекерлеудегі сияқты.

2.3.4. Жалғастырылатын бөліктердің құрылымы және дайындау

Басым жағдайларда толықтырғышсыз дәнекерлеу тікелей жалғастырылатын жиектерде орындалады. 2.21-сурет жиі пайдаланылатын кейбір жиектерді бөлуді кескіндейді.



2.21-сурет. Қосылыстарды дайындау мысалдары (Institut de Soudure құжаты)

Аталмыш мысалдар осы үдерістердің барлық артықшылықтарын қолдану үшін үдерісті іріктеуді зерттеу бөлімінде жүргізу керектігін көрсетеді. Кейде саңылаулардың жоқтығына қол жеткізу қиын болады. Компоненттер арасындағы кейбір дәнекерлеу саңылауларының болуына жол беруге болады, оның маңыздылығы пісірілетін бөліктердің қалыңдығына байланысты өзгереді, бірақ кемінде 15 мм қалыңдық үшін осындай саңылау шамамен қалыңдықтан 10% құрайды. Бұдан басқа, шамадан тыс жұқа аумақтарды болдырмау үшін толықтырғышты пайдалану қажет. Бұл көбіне лазерлік сәулемен орындалады, себебі ЭЛ-дәнекерлеудегі жұмыс барынша дәл орындалады.

Компоненттерді механикалық өңдеуден дәнекерлеу алдында мұқият майсыздандыру және жіктің маңында болатын тотықтарды сапалы дәнекерлеу жігін алу үшін жою қажет.

ЭЛ-дәнекерлеуде электронды сәуленің ауытқу қаупінен компоненттердің қалдық магнетизміне және сәйкесінше балқымау сияқты дәнекерлеу ақауын алуға ерекше назар аударған жөн. Осылайша, дәнекерлеу алдында осы магнетизмді бақылау қажет және бөліктерді магнитсіздендіру операциясына ұшырату мүмкін. Алайда бұл үнемі күтілетін нәтижеге әкелмейтін шетін операция екенін түсіну қажет.

Дәнекерлеу қосылысына қатысты фотонды немесе электронды сәулені позициялауды қамтамасыз ету үшін көбіне позициялауды және бекіту элементтерін қолдану қажет, олар жоғары тоқты және ЭЛС жағдайында магнитті емес материалдардан дайындалуы тиіс.

2.4. Жоғары тығыздықты сәулелі дәнекерлеу металлургиясы

Әдеттегі дәнекерлеу үдерістерімен салыстырғанда сәулелік дәнекерлеу үдерістерінің негізгі ерекшеліктері (доғалық дәнекерлеу) келесілер болып табылады:

- басым жағдайларда қондырма сымның болмауы,
- қатаю және суудың барынша жоғары жылдамдықтары бар дәнекерлеудің жоғары жылдамдықтары,
- жылулық әсер ету аймағы және балқытудың тар аймағы,
- төмен қыздыру және бөліктердің шектелген өзгеруі,
- компоненттер және энергия көздері арасындағы тікелей байланыстың болмауы.

Осы ерекшеліктер пісірілетін материалдардың тәртібімен байланысты қасиеттерді қамтиды. Осы ерекшеліктерді зерттеу үшін бір жағынан импульстік YAG-лазермен дәнекерлеу сияқты импульстік дәнекерлеу режимдерін және екінші жағынан ЭЛС, CO₂-лазері және үздіксіз YAG-лазерінің үдерістері сияқты үздіксіз дәнекерлеу режимдерін ажырату орынды. Импульстік дәнекерлеуде алынатын жылу циклдері үздіксіз режимге қарағанда қысқа.

Әр түрлі металл материалдардың пісірілу мәселелерін көрнекі көрсету үшін келесі түсініктерді ажыратқан жөн [MUR 94]:

- технологиялық пісірімділігі: пісірілетін металдың тәртібі немесе қорытпа дәнекерлеу жігінің аяқталуына кедергі жасайтын дәнекерлеу кезіндегі мәселелерге жатады;
- металлургиялық пісірімділігі: дәнекерлеу үдерісі кезінде құрамды аймақтардың бірі (балқыту аймағы қосу аймағы немесе ТӨА), операцияның өзінен түрінің өзгеруіне ұшырай алады, ол көзделген жұмыс шарттарындағы жинау өнімділігін күмәнға қояды.

Технологиялық және металлургиялық пісірімділігі негізгі металл қорытпаларда сипатталатын болады (болаттар, алюминий қорытпалар, никель қорытпалар, титан қорытпалар, цирконилі қорытпалар және мыс қорытпалар).

2.4.1. Болаттар

2.4.1.1. Технологиялық пісірімділігі

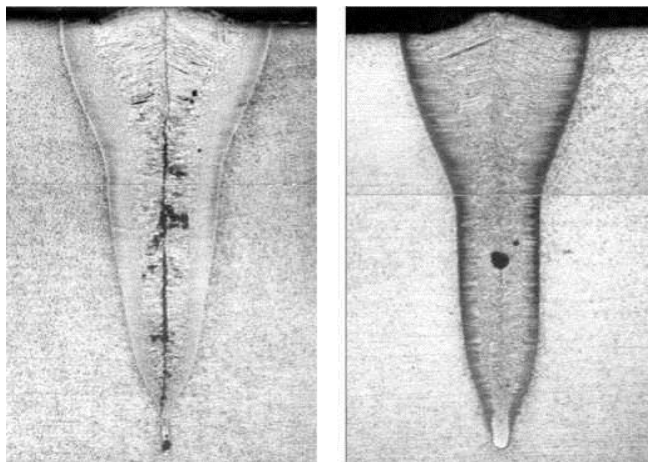
Болаттар негізінен жақсы технологиялық пісірімділікке ие. Білдектің вакуумдік корпусының болмауына байланысты артықшылыққа қосымша лазерлік дәнекерлеу үдерістері ЭЛ-дәнекерлеумен салыстырғанда Пельте әсері, гетерогенді құрамалар жағдайында немесе ферритті болат жағдайындағы тұрақты магнетизмге, сәуленің ауытқуларына сезімтал еместігінде жатыр. Дегенмен тот баспайтын болатты дәнекерлеу газ тіркемені қолданумен газбен қорғаумен жүргізілуі тиіс.

2.4.1.2. Металлургиялық пісірімділігі

Қоспаланбаған немесе төмен қоспаланған болат

Металлургиялық пісірілуге байланысты, бұрын сипатталған энергияның жоғары тығыздығы бар үдерістердің белгілі бір ерекшелігінен басқа (бөліктері бар түйіспенің болмауы, қондырманың барынша төмен кернеулерінің, сутегінің болмауы) осы үдерістер суық

жарылудың пайда болуын айтарлықтай шектейді.



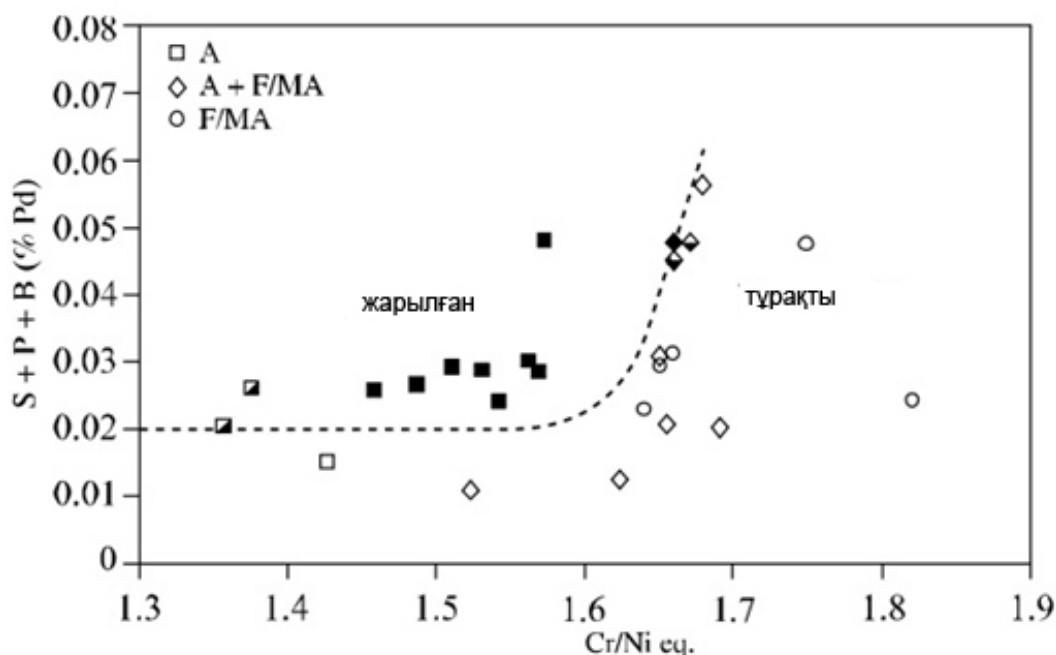
2.22-сурет. 25 CrMo4V [COL 97] болаттағы CO₂-лазердің дәнекерлеу жіктерінің кескіндемелері. 25CrMo4V: 0,005% күкірт, 0,015% фосфор (жарылуларсыз)
25CrMo4V4: 0,031% күкірт, 0,016% фосфор (жарылулары бар)

Екінші жағынан InstitutdeSoudure [COL 97] өткізген ғылыми зерттеулер қалдық элементтердің болуы және жоғары жылдамдықты үйлестірілген әсерлерден ыстық жарылудың ұлғаюын анықтады, атап айтқанда күкірт және фосфор (2.22-суретті қараңыз).

Қолданыстағы стандарттармен ұсынылатын химиялық құрамның диапазондары жоғары тығыздықты сәулелік дәнекерлеу үдерістерінің ерекшелігін ескермейді. Қалдық элементтерді шектеу (күкірт, фосфор) ыстық жарылу үшін тәуекелдерді шектеу үшін маңызды мәнге ие.

Аустенитті тот баспайтын болат

Дәнекерлеуден кейінгі жағдайдағы металлургиялық құрылымды бейнелейтін көптеген болжамды диаграммалар дәнекерлеу үдерістерін дамыту дәрежесіне қарай құрастырылып, өзгертілді. Атап айтқанда, Шеффлер диаграммалары [SCH 49], Делонг диаграммаларының тобы [DEL 56] немесе Суутал диаграммасы [SUU 79] әдетте дәнекерлеу үдерістерінен жасалған, тез суытумен байланысты дәнекерлеу үдерістері үшін енді қолданылмайды. Осы себепті Institut de Soudure [CHE 93] өткізілген зерттеуде лазерлік сәулемен дәнекерлеуде ыстық жарылуға тот баспайтын болаттардың бейімделуіне болаттың құрамы және жылу шарттарының әсері қаралды. Ыстық жарылудың аталмыш құбылыстары үздіксіз дәнекерлеу режимінде аса маңызды емес, бірақ импульсті дәнекерлеуде ерекше маңызды болады.

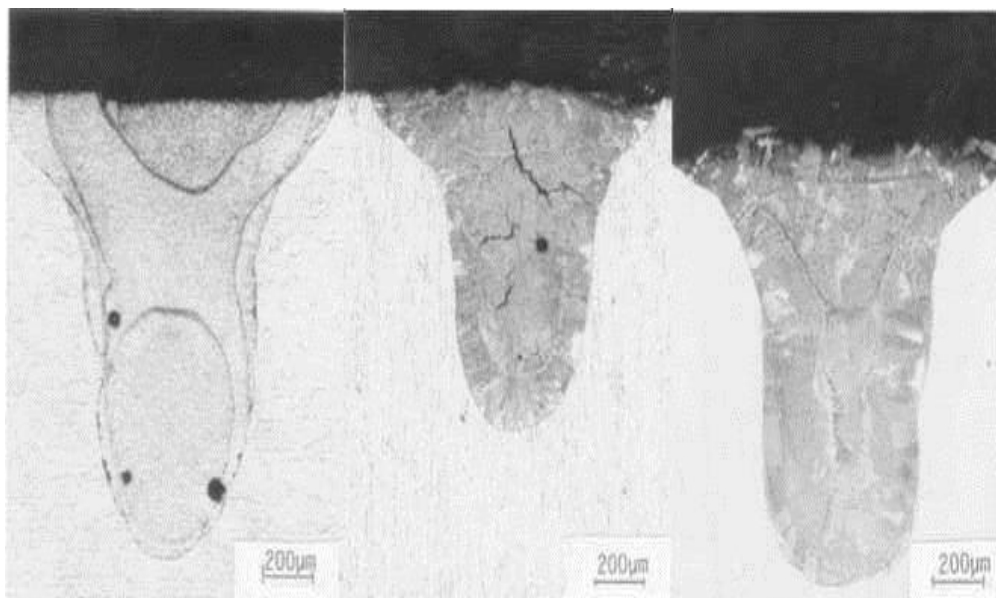


2.23-сурет. [CHE 93]YAG-лазерімен импульсті дәнекерлеудегі тот баспайтын аустенитті болаттардың ыстық жарылуын болжау диаграммасы

YAG-лазера и CO₂-лазерінің импульстік сәулесінің үдерістері үшін бастапқы қатаю режимінен және Cr/Ni эквивалентіне қайта есептеудегі қорытпаның химиялық құрамындағы бор және фосфор, күкірттің құрамына байланысты қайта есептеудегі қорытпаның химиялық құрамындағы бор және фосфор, күкірттің құрамына байланысты ыстық жарылудың жаңа болжамды диаграммасы жасалды (аустенитті немесе ферритті) (2.23-суретті қараңыз).

$$\frac{Cr}{Ni}^{eq.} = \frac{Cr + 1.37Mo + 1.5Si + 2Nb + 3Ti}{Ni + 0.31Mn + 22C + 14.2N + Cu}$$

Осы диаграммада үш әр түрлі өріс ұсынылған: жарылусыз екі аймақ және жарылу аймағы. Cr/Ni эквиваленті 1,7 жоғары қорытпалар қоспалардың жоғары құрамына дейін ыстық жарылуға сезімтал емес. Олар феритті қатаю режимінің нәтижесі болып табылады, одан кейін қатты жағдайға аустенитті айналу болады. Жарылулардың түзілуісіз екінші аймағы 1,58 төмен Cr/Ni қорытпаларға сәйкес келеді, бірақ олардың қоспаларының құрамы төмен ($S+P+B \leq 200$ с/млн.). Жарылу аймағы Cr/Ni 1,58 төмен эквивалентімен және қоспалар құрамымен ($S+P+B > 200$ с/млн) анықталады. Эквиваленті Cr/Ni 1,58 және 1,70 арасында болатын қорытпалар өтпелі аймақта болады, олардың жарылуы қоспалардың құрамына байланысты болады.



2.24-сурет. [CHE 93a]-дан тот баспайтын аустенитті болаттан пластиналардағы YAG-лазерінің импульсті сәулесі.

X2CrNi18-09 экв. Cr/Ni=1,75% (S+P+B)=0,0475% сол жақтан сурет)

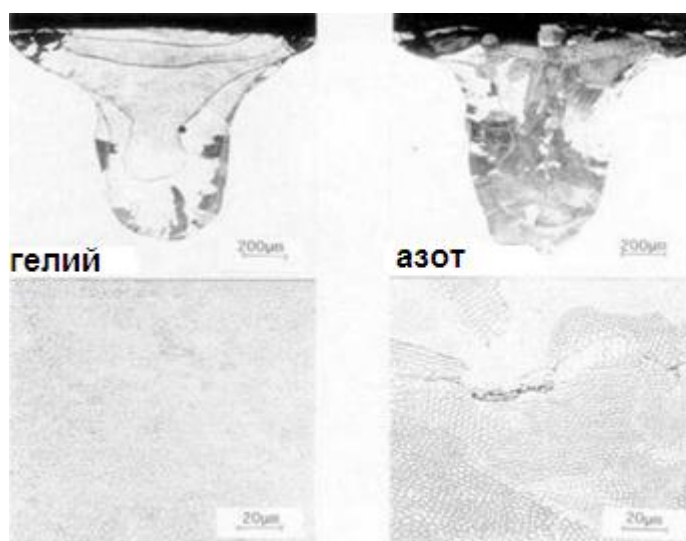
X2CrNiMo17-12-2 экв. Cr/Ni=1,57% (S+P+B)=0,0481% (ортасында)

X2CrNiMo17-12-2 экв. Cr/Ni=1,523% (S+P+B)=0,0106% спр(оң жақтан сурет)

Осы зерттеу азотты (ген гаммасы) қорғаныш газы ретінде пайдалану сияқты сыртқы факторлар жарылулардың түзілуіне айтарлықтай үлес енгізе алады (2.25-суретті қараңыз).

Ферритті тот баспайтын болаттар

Кристал аралық коррозияны туындата алатын хром карбиді және нитридтердің тұнуы және түйіршіктілікті арттыру болып табылады. Осыны құбылыстар жоғары сызықтық энергияны пайдаланумен дәнекерлеу үдерістерін пайдалануда кеңінен таралған. Жоғары жылдамдықты және қыздырудың төмен жылдамдығымен жоғары тығыздықты сәулелік дәнекерлеу үдерістері осы құбылыстарды шектейді және дәнекерлеу қосылыстарының механикалық беріктігін айтарлықтай жақсартады.



2.25-сурет. Әр түрлі қорғаныш газдармен пісірілген пластиналарда жіктерді салыстыру ([CHE 93]). Гелий бар пластинадағы жік (сол жақтан сурет).

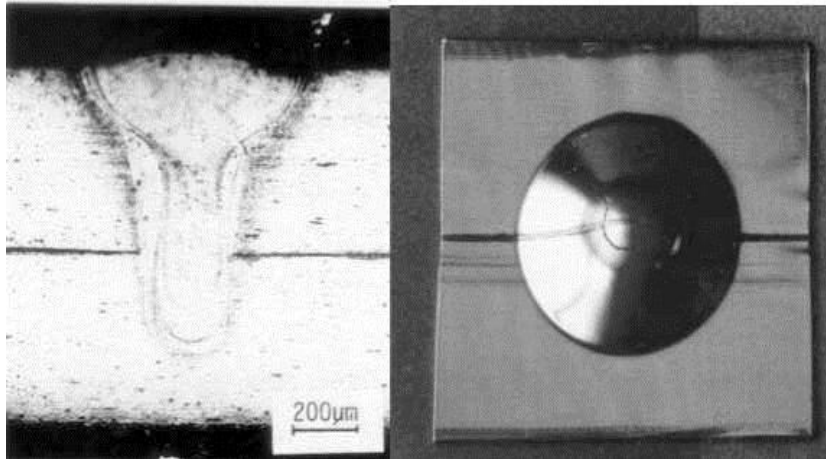
Азоты бар пластинадағы жік (оң жақтан сурет).

Мартенситті тот баспайтын болаттар

Мартенситті тот баспайтын болаттар суық жарылу құбылысына сезімтал бола алады.

Суық жарылуды туындайтын факторлар:

- көміртекті жоғары пайыз ($> 0,3\%$),
- қосылыстың сай келмейтін құрылыммен немесе дәнекерлеу үдерісімен туындатылған,
- суытудың жоғары жылдамдықтары,
- ерітіндіде сутегінің болуы.



2.26-сурет. Ферритті тот баспайтын болаттың X2CrMoTi 18-2 (Institut de Soudure құжаты) CO₂-лазерінің сәулесімен дәнекерлеу.

Болаттың суық жарылуларын болдырмау немесе шектеуге мүмкіндік беретін келесі әр түрлі шараларды қолдану:

- аустенитті қондырма сымды пайдалану,
- алдын ала қыздыру және келесі қыздыру,
- сутегіні енгізуді болдырмау.

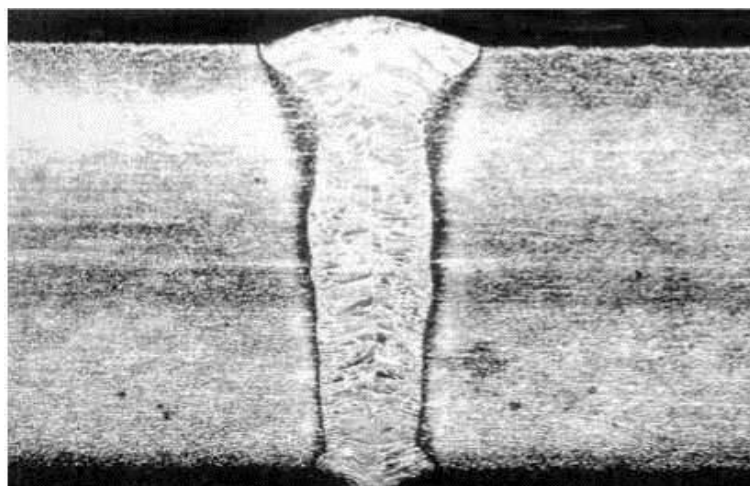
Жоғары тығыздықты сәулелік дәнекерлеу үдерістері дәстүрлі үдерістермен салыстырғанда үлкен артықшылықтарға ие. Пісірілетін бөлікпен байланыс болмай олар сутегімен ластануды шектейді, ал балқытудың өте тар аймағында қатаю кезіндегі қондырма қуыстың түзілуімен туындаған кернеу, балқытудың өте тар аймағында сутегімен ластануды шектейді. Пісірілетін доғалық дәнекерлеумен есептелетін кейбір болаттар қондырма доғалық дәнекерлеумен есептелмейді, қондырма сымсыз және алдын ала қыздырусыз.

Егер олар қыздырылған жағдайда пісірілсе, мартенситті тот баспайтын болаттардың қалдық қатаюлары дәнекерлеуден кейін өзінің механикалық қасиеттерін жояды. Егер бөліктердің құрылымы жоғарым тығыздық жағдайында дәнекерлеуге және дәнекерлеуден кейін ұсталым өндеуін өткізуге мүмкіндік береді.

Аустенитті ферритті тот баспайтын болаттар (дуплекс немесе супер дуплекс)

Осы болаттар 50% аустениттен және 50% ферриттен тұратын өзінің микроқұрылымының арқасында жақсы коррозиялық беріктік және жақсы механикалық қасиеттерге ие. Дәнекерлеумен туындаған суытудың жоғары жылдамдығы феррит және аустенит арасындағы дисбалансты туындатады. Жоғары тығыздықты сәулелік дәнекерлеу үдерістерімен құрылатын суытудың жоғары жылдамдығы балқыту аймағындағы толығымен ферритті құрылымды түзуге әкеледі. Қорғаныш газ ретінде азотты енгізу және/немесе дәнекерлеу жылдамдығын төмендету аустенит құрамын ұлғайтады. Өкінішке орай, осы әдістер дуплексті құрылымды алу үшін жеткіліксіз (2.27-суретті қараңыз). Жоғары тығыздықты сәулелік энергия үдерістері тек жоғары емес коррозиялық талаптарда қолдануға болады.

Жоғары тығыздықты сәулелік дәнекерлеу үдерістері



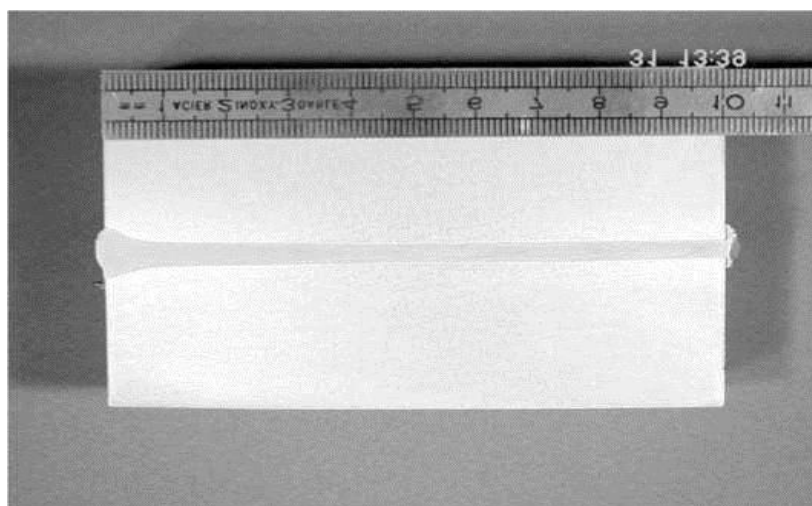
2.27-сурет. *X2CrNiMoN22-5-3 3 мм қалыңдықты тот баспайтын аустенитті ферритті тот баспайтын болат CO₂-лазермен түйістіріле пісірілген дәнекерлеу жігі (Institut de Soudure құжаты)*

2.4.2. Алюминий қорытпалар

Технологиялық пісірімділігі

Алюминий қорытпалардың технологиялық пісірімділігінің негізгі мәселелері олардың жоғары өткізгіштігімен және қиын балқитын тотықтың болуымен байланысты. Тотықты қабат дәнекерлеудің пайдаланылатын үдерісінен тәуелсіз пісірер алдындағы бөліктердің бетін тазалауды талап етеді. Алюминий қорытпаларды лазерлік дәнекерлеу жұтылудың төмен коэффициенттерінен қиындайды. Осы жағдайда YAG-лазер CO₂-лазермен салыстырғанда кішігірім артықшылыққа ие жұтылудың аз жұтылуын қамтамасыз етеді.

Электронды-сәулелік дәнекерлеу осы қорытпалар үшін артықшылықтарға ие, сол себепті лазерлік сәулелердің жұтылу мәселелері жоқ, ол кезде пісірілетін дәнекерлеу қалыңдығы жоғары (2.28-суретті қараңыз), ал дәнекерлеу жіктері тар. Жылулық дәнекерлеу циклі жеткілікті қысқа, ол алюминидің жоғары жылу өткізгіштігімен туындаған мәселелерді шектейді.

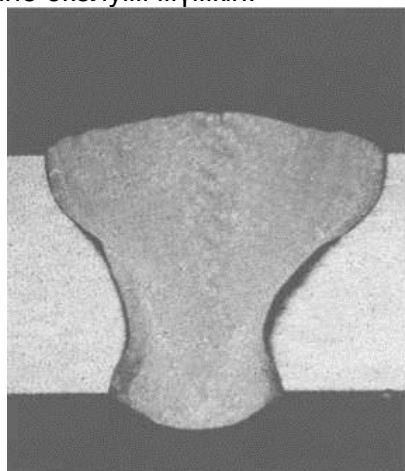


2.28-сурет. *Алюминий қорытпалы 5754 электронды-сәулелік дәнекерлеу (Institut de Soudure құжаты)
Металлургиялық пісірімділігі*

Аустенитті тот баспайтын болаттарға ұқсас, алюминий қорытпалар импульстік немесе үздіксіз дәнекерлеу режимдеріне әр түрлі әсер етеді.

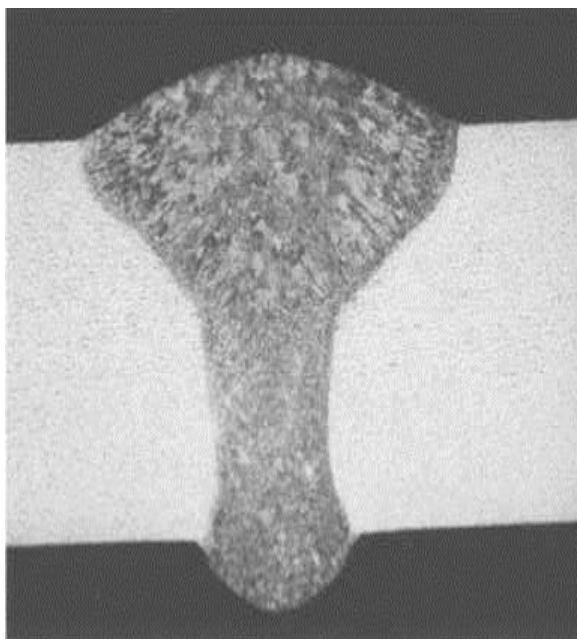
YAG-лазерінің импульстік сәулесімен дәнекерлеуде алынған қатаю жылдамдығы, ыстық жарылудың жүйелік түзілуге әкеледі. Тек таза алюминий және 4000 сериялы (Al, Si) алюминий ыстық жарылусыз пісіріле алады. 5000 (Al, Mg) және 6000 (Al, Mg, Si) сериялы 4047 (немесе 4043) алюминий қорытпаларды қондырма сым ретінде осы қорытпаны пайдаланумен немесе алюминий қорытпалы гетерогенді жинауда дәнекерлеуге болады.

Үздіксіз режимде дәнекерлеу үдерістері ыстық жарылу мәселелерінен аз туындатады. Олар жақсы шарттарда 3000, 4000, 5000 және 6000 сариялы алюминий қорытпаларды дәнекерлеуге мүмкіндік береді. Дегенмен, 6000 сериялы жоғары дәнекерлеу жылдамдықтарында ыстық жарыду үдерісі іске қосыла алады. Қондыру сымын пайдалану 4047 (немесе 4043) лазерлік дәнекерлеудегі ыстық жарылу үдерісін болдырмауға мүмкіндік береді. Алайда ол ликвация үдерісіне әкелуім мүмкін.



2.29-сурет. Сәулелікдәнекерлеу CO_2 –қалыңдығы 5 мм 6013 алюминилі лазермен; мұнда [СНЕ 98]

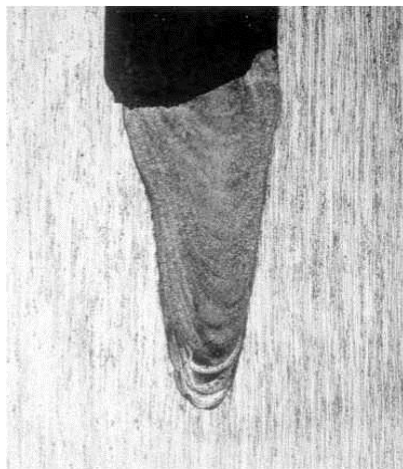
2000 сериялы алюминий қорытпалары жағдайында тек 2219 қорытпасы толыққанды дәнекерлеуге беріледі. Алюминий қорытпаны 2024 дәнекерлеудің төмен жылдамдығында сақтықпен дәнекерлеуге болады.



2.30-сурет. Қалыңдығы 5 мм алюминилі қорытпалы 2219 CO_2 –лазермен сәулелік дәнекерлеу; [СНЕ 98]-дан

7000 сериялы қорытпаларды сақтықпен дәнекерлеу қажет, себебі олар ыстық

жарылуға көбірек бейім. Алюминий қорытпаны 7020 электронды сәулемен дәнекерлеуге болады (2.31-суретті қараңыз). Осы жағдайда бөліктердің құрылымдарының ерекшеліктерінен әсерді ескеру орынды.



2.31-сурет. Электронды сәулемен пісірілген 7020 алюминийлі қорытпала туындаудың 2 мм тереңдігі (Institut de Soudure құжаты)

2.4.3. Никель негізіндегі қорытпалар

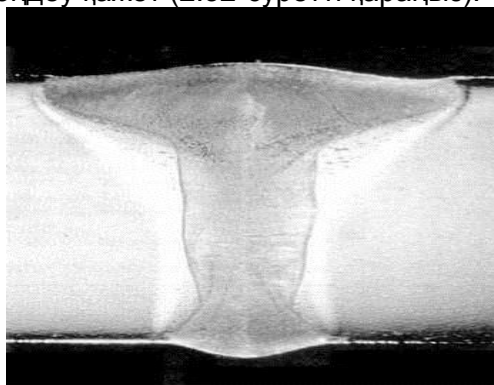
Технологиялық пісірімділігі

Никель негізіндегі қорытпалар, тот баспайтын болаттар технологиялық дәнекерлеумен қандай да бір ерекше мәселелерді тудырмайды. Алайда лазерлік дәнекерлеу жағдайында газ тіркеме арқылы жеткілікті қорғанышты газды қамтамасыз ету қажет.

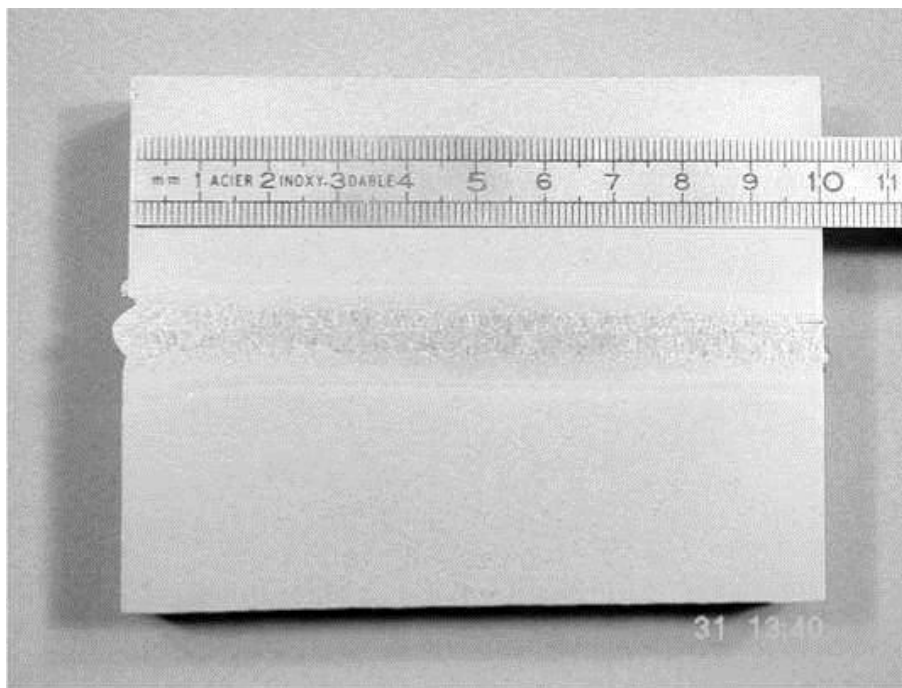
Металлургиялық пісірімділігі

Никель негізіндегі қорытпаларды келесі үлкен екі топқа бөлуге болады:

- жылулық өңдеусіз қорытпалар: олар жақсы коррозиялық беріктікке ие. Осындай қорытпалар негізінен жақсы пісірімділікке ие;
- дисперсиялық –қатты қорытпалар: олар жоғары температурадағы өзінің жақсы механикалық қасиеттерінің нәтижесінде пайдаланылады. Олар ыстық жарылуларға сезімтал. Дәнекерлеуден кейін жылумен өңдеу қажет (2.32-суретті қараңыз).



2.32-сурет. Сәулелік дәнекерлеу CO₂ - Inconel 718 лазерімен, қалыңдығы 6 мм (Institut de Soudure құжаты)

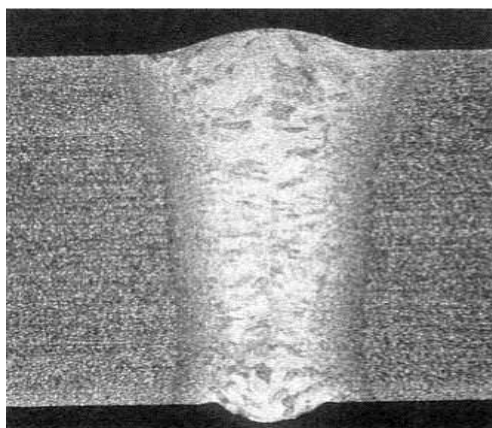


2.33-сурет. Қалыңдығы 100 мм TA5E титан қорытпаны электронды-сәулелік дәнекерлеу (Institut de Soudure құжаты)

2.4.4. Титан негізіндегі қорытпалар

Технологиялық пісірімділігі

Титан қорытпалар лазерлік немесе электронды-сәулелік дәнекерлеуге әрекет етеді. Олар жақсы аққыштыққа ие, олар эстетикалық дәнекерлеу жігінің түзілуіне жағдай жасайды. Энергияның артық тығыздығын пайдалану кесіктер ретінде осындай беттік ақауларға әкеледі (2.33-суретті қараңыз).



2.34-сурет. Сәулелік дәнекерлеу CO₂ -лазером сплава TA6V с толщиной 6 мм (документ Institut de Soudure)

Дегенмен, олар оттегі және азотқа үлкен сезімталдыққа ие. Дәнекерлеу кезінде тиімді газбен қорғау талап етіледі. Оттегі және азот ластануы бөлшектердің түзілуіне әкеледі, ол осы арқылы оның құрылымын бәсеңдете отырып металдың тұтқырлығына зиянға механикалық беріктікті ұлғайтады. Осы себепті вакуумді электронды сәуле ерекше балама болып табылады.

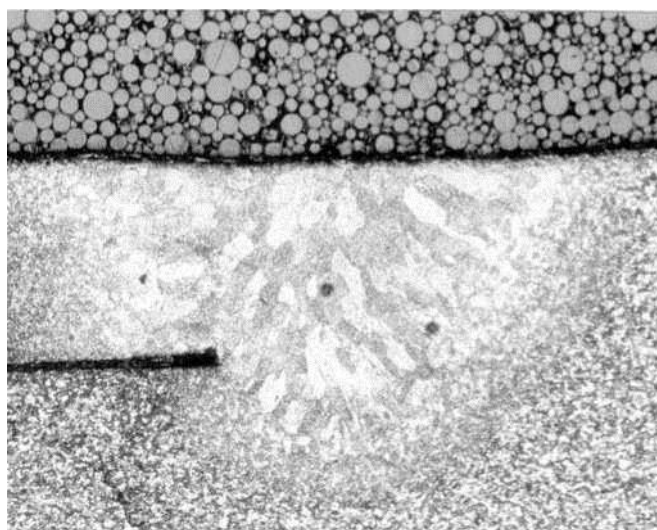
Металлургиялық пісірімділігі

Кейбір қорытпалар дәнекерлеу кезінде түйіршіктіктің ұлғаюына сезімтал. Ферриттік тот баспайтын болаттарына қатысты жоғары тығыздықты сәулелік энергия үдерістері осы үдерісті айтарлықтай шектейді. Лазерлік немесе электронды сәулелердің көмегімен алынған дәнекерлеу жіктері доғалық дәнекерлеумен алынғанға қарағанда жақсы созымдылыққа ие. Басым жағдайларда пайдаланылатын қорытпалар ыстық созылуға аса сезімтал емес.

2.4.5. Цирконий негізіндегі қорытпалар

Технологиялық пісірімділігі

Цирконилі қорытпалардың тәртібі титан негізіндегі қорытпаларға ұқсас. Олар қоршаған ауамен жеңіл ластана алады. Тотығу 400-500°C температурадан басталады. Беттік және артқы газдық қорғау қамтамасыз етілуі тиіс. Электронды сәуле осы қорытпалар үшін лайықты үдеріс болып табылады. Импульстік YAG-лазерді қыздырудың шектелген әсерінен пайдалануға болады.



2.35-сурет. Қалыңдығы 1 мм Zr4 цирконий қорытпасының жігінің YAG-лазерімен импульстық дәнекерлеу (Institut de Soudure құжаты)

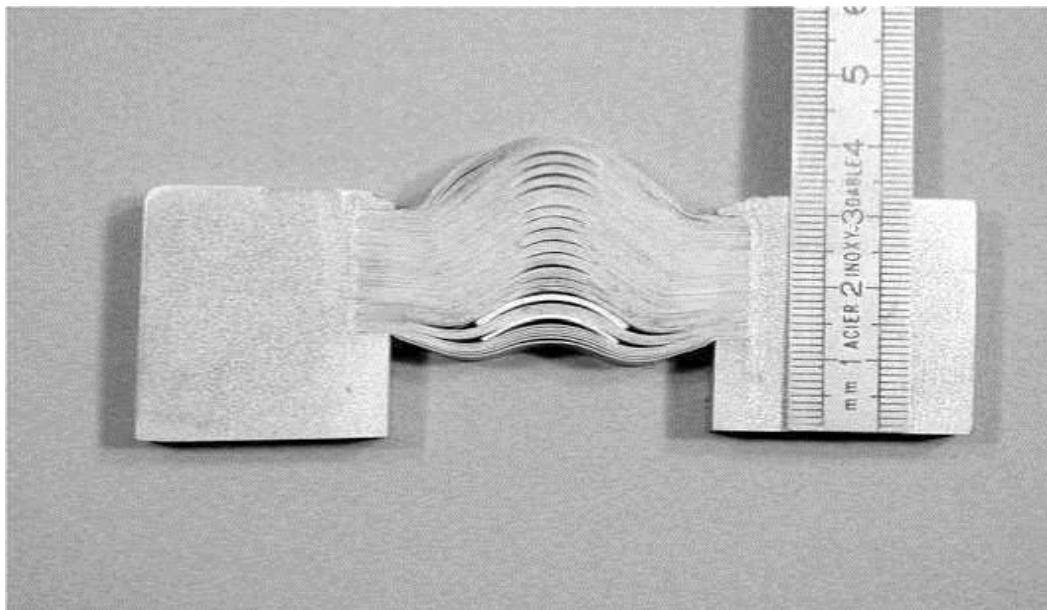
Металлургиялық пісірімділігі

Кейбір қорытпалар жақсы металлургиялық пісірімділіктен кеңінен пайдаланылады. Ол сондай-ақ атом өнеркәсібі үшін корпустарды дайындауда циркалояға да қатысты. Цирконилі қорытпалар түйіршіктіліктің артуына сезімтал сол себепті олар энергияның жоғары тығыздығы бар үдерістерді пайдалануда мәнге ие.

2.4.6. Мыс негізіндегі қорытпалар

Технологиялық пісірімділігі

Жоғары шағылдырғыш қабілеті және мыс қорытпалардың жоғары жылу өткізгіштігі лазерлік дәнекерлеудің негізгі кемшіліктері болып табылады. Ол айна сияқты әрекет етеді. YAG-лазерінің импульстік сәулесін, энергияның жоғары тығыздығы нәтижесінде өте жұқа бөліктерді дәнекерлеу үшін пайдалануға болады. Екінші жағынан электронды сәуле көптеген артықшылықтарға ие. Тығыз профилдерді тар дәнекерлеу жіктерін алуға және алдын ала қыздырусыз дәнекерлеуге болады.



2.36-сурет. Мыс бөлікті электронды-сәулелік дәнекерлеу (Institut de Soudure құжаты)

Металлургиялық пісірімділігі

Таза мыс тазалықтың әр түрлі деңгейлерінде бар:

- Cu-a₁: тазалығы 99,90%, 0,1% дейін оттегіні қамтиды,
- Cu-b: 99,90%, фосформен жасығанны,
- Cu-c₁: тазалығы 99,94%,
- Cu-c₂: тазалығы 99,96%.

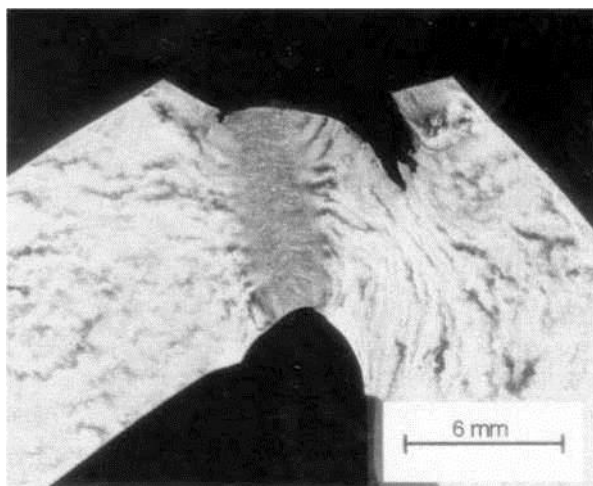
Мыс Cu-c₁немесе Cu-c₂ тотыққан типтерінде пісірілуі тиіс. Тотықтың шығу тегіне қарамастан ол кристалл аралық тұнбалар түрінде дәнекерлеу жігін және оның айналасын бәсеңдетеді, ол сондай-ақ кеуектіктің түзілуіне әкеледі.

Негізгі мыс қорытпалар жақсы металлургиялық электронды-сәулелік дәнекерлеуге ие. Мыс-алюминий, мыс-берилий және кейбір мыс қорытпалар сияқты кейбір қорытпалар үшін ыстық жарылу мүмкін. Ыстық жарылуға бейімділікті арттыратын қорғасынның болуын мүлде болдырмау қажет (жақсартылған өңделуі бар қорытпалар).

2.5. Дәнекерлеу қосылыстарының механикалық қасиеттері

Энергияның жоғары тығыздығы бар сәулелік дәнекерлеу бір өткелді дәнекерлеу, балқытудың тар аймағы және қондырма сымның болмауы сияқты арнайы ерекшеліктерге ие. Осы ерекшеліктер дәстүрлі механикалық қасиеттерге әсер етеді.

Созылуға сынауларға келер болсақ, созылуға үлгілердің көлденең ажырауы әдетте негізгі металда болады. Тек аустенитті болаттар балқытудың сызығының маңындағы ажырауды алады бірақ ажырау жүктемесінде негізгі материалдың жүктемесіне өте жақын. Құрылымдық бекітілген материалдар үшін ажырау балқыту аймағында болады. Бойлық бағыттағы созылуға сынаулар балқытылған аймақтың тарлығынан үлгіні іріктеу күрделілігінен өткізілмейді.



2.37-сурет. Қалыңдығы 12 мм қоспаланбаған болаттың CO₂лазерімен сәулелік дәнекерлеу (Institut de Soudur құжаты)

Бүгілуге сынаулар жақсы нәтижелерге әкеледі. Алайда қоспаланған болаттарда орындалған дәнекерлеу жігі аймағында байқалатын қаттылықтың айырмашылығы балқытылған аймақтан екі жағынан көлдегең бүгілуге сынаулар кезінде өзгеріс туындатады. Осылайша бойлық бүгілуге сынауды өткізу барынша үнемді себебі ол барлық аймақтардың бірдей өзгеруіне әкеледі.

Беріктікке динамикалық сынауларды өткізу кезінде сынау үлгілеріндегі ажыраулардың болмауы және жарықтардағы ауытқулар жиі байқалады.

Ол өз кезегінде сынаулардың дұрыстығын күмәнға қояды. Дәнекерлеу жіктерін бағалау мақсатында паллиативті шешімдер әзірленді. Дәнекерлеу жіктерінің беріктігін бағалау мақсатында паллиативті шешімдер әзірленді. Қазіргі уақытта жалпы келісу жоқ және сынаулардың жаңа әдістерін іздеу бойынша әрі қарай жұмыстарды өткізу қажет, оларды өткізу жеңіл және қымбат емес және қолданылатын нәтижелерді беретін болады.

Қаттылық сынаулары жылулық әсер аймақтарына қарағанда барынша төмен көрсеткіштермен сипатталатын пісірілген әр текті құрылымды дәнекерлеу қосылыстарын анықтайды (ТӨА). Аталмыш жағдайды балқыту аймағындағы қыздыру элементтерінің жану және сууының әр түрлі жылдамдықтарының болуымен түсіндіруге болады. Доғалық дәнекерлеу үдерістеріндегі қаттылықты сынау көбіне суық жарылумен және Виккерс бойынша қаттылық қатарындағы 350 ең жоғары шектік қаттылық белгісімен түзетіледі. Лазерлік және ЭЛ үдерістері үшін басым жағдайларда осы шек артады. Алайда, дәнекерлеу кезінде сутегі болмағанда орындалатындықтан және ол вакуумде немесе газ қорғаула болатындықтан суық жарылу қаупі, көміртектің жоғары құрамы бар шыныққан жоғары қоспалы болатты қоспағанда нөлге тең.

Басатын кернеу күштерінің болуынан төзімділік, негізінен дәнекерлеу жіктерінің бетінде қанағаттанарлық.

2.6. Құрастырулар сапасы

Дәнекерлеу жігінің сапасы түпкілікті жинауға қойылатын техникалық талаптарға оның сәйкестігі тұрғысынан бағаланады. Талаптар коррозияға беріктік немесе су өткізбегіштік, механикалық беріктік сияқты болуы мүмкін. Сапасы бұзылмайтын және бұзылатын сынаулар ретінде пайдаланумен жинауды жоғары тоқты бақылау жолымен және/немесе пайдаланудың бірдей шарттарында дайындалған үлгілерде немесе толық жинаудағы сынауларды қолданумен тұтас тексеріледі.

Келесі тарауда ЛСВП дәнекерлеу жіктеріндегі мүмкін ақаулардың жеткілікті тізімін, барынша жиі пайдаланылатын бақылау әдістері және негізгі қолданыстағы стандарттарды ұсынамыз.

2.6.1. Дәнекерлеу жіктерінің ақаулары

NF EN 26520 стандарты «Түсіндірмесімен металды балқытумен дәнекерлеу жіктерінің Жіктемесі» болып табылады, ол дәнекерлеу жігіндегі жағдаймен және олардың шығуы, олардың геометриясына сәйкес ақауларды нөмірлеу және жіктеуге мүмкіндік береді. ЛСВП үдерістері өзінің ерекшеліктерінің нәтижесінде ерекше ақаулардың түзілуіне әкеледі.

Жарықтар

Ыстық жарылулар көбіне қатаюдың ыстық жылдамдығынан және басым жағдайларда қондыру сымын қосудың болмауынан болады. Олар анықталатын немесе анықталмайтын болып табылады және кішігірім өлшемдерге ие. Олар балқытылған ваннадағы қатаю соңында пайда болғанда ыстық жарылулар деп аталады. Ликвация құбылысымен байланысты дендрит аралық немесе кристал аралық жарықтар бар. YAG-лазерімен импульстік дәнекерлеу үдерісі никелді негіздегі кейбір қорытпаларда және алюминий қорытпаларда, аустенитті тот баспайтын болаттарда осындай ақауларды өндіруге бейім.

Суық жарылу сияқты белгілі жарылулар шамамен 150°C немесе төмен температурадағы суыту үдерісінің соңында пайда болады. Осы жарылулар жылулық әсер ету аймағында немесе балқыту аймағында болады. Олар қыздырудағы мартенситті беріктелумен, сутекті осалдықпен және ішкі кернеумен байланысты. Қоспаланбаған немесе төмен қоспаланған болаттар суық жарылуға қоспа элементтерден және көміртектің пайыздық құрамының деңгейінен сезімтал. Әр түрлі формулалар осы болаттар үшін пісірімділік шегін анықтау үшін ұсынылды. Әдеттегі дәнекерлеу үдерістері үшін шығарылған осындай формулалар көміртекті эквиваленттілік тұрғысынан болаттардың құрамын ғана ескереді, бірақ суыту жылдамдығын назарға алмайды. Аталмыш формулалар суытудың жоғары жылдамдығынан ЛСВП үдерістері жағдайында қолданылмайды сондай-ақ олар сутегіні енгізбегендіктен қондыру кернеулері шектелген. Осындай жарылулар барынша кішігірім жеткілікті болады және ыстыққа қарағанда сирек кездеседі.

Қуыстар

Бұл көбіне дәнекерлеу жігінің соңындағы ойықтарда немесе балқытудың аймағының ортасында пайда болатын қатаю кезінде металды отырғызу себебі бойынша қондыру қуыстарының түзілуін қамтитын көлемді ақаулар. Ойық қондыруды түзу әдетте микроскопты ыстық түзілулердің микроскоптық түзілулермен сүйемелденеді. Олар көбіне балқытаудың кеңею аймақтарында жиі байқалады, ол *ағылулар* деп аталады, ол лазерлік немесе электронды сәулені нашар фокустеумен байланысты. Олар көбіне өте тығыз компоненттерде кездеседі, сондай-ақ қорытпада қоспалардың, күкірттің және фосфордың жоғары деңгейлері қатысады. Олар балқытылған аймақтың өсімен бір сызықта түзіледі.

Қуыстар газдың қатаюы кезінде қысыла түзілген қуыстар болып табылады. Олар ішінара өтумен дәнекерлеу жіктерінде жиі кездеседі және дәнекерлеу аймағының бойында немесе оқшауланған қуыс түрінде пайда болады. Олар тығыз компоненттерді дәнекерлеуде және нашар тазалау жағдайларында жиі кездеседі (алюминий қорытпалар, титан қорытпалар). Лазерлік және ЭП дәнекерлеу жіктерінде олардың өлшемі миллиметрден максимум екі миллиметрге дейін ондаған үлестерде түрлене алады, ол балқытудың тар аймағымен шарттастырылған. Олар негізінен жіктің түбінде немесе жік бойынша төмен жартылай түзіледі.

Балқыту немесе өтудің болмауы

Балқытудың болмауы – бұл дәнекерлеу аймағы және негізгі металл арасында байланыстың болмауы және тегіс ақау болып табылады. Ол дәнекерлеу жігі және пісірілетін сәуле арасындағы сәйкессіздікпен байланысты бола алады. Гетерогенді жинау жағдайында ол материалдар арасындағы ауқымды айырмашылықпен байланысты, оны бұзылмайтын сынаулар көмегімен жеңіл орындауға болады.

Өтудің болмауы — бұл жіктің түбінде бар пісірілетін жиектер арасында балқытулардың болмауы. Ол негізінен сәулені фокустеудің нашарлауынан немесе сәуленің жеткіліксіз қуаты себебі бойынша болады.

Форма ақаулары

Келесі ақау түрлерін белгілеуге болады:

– кесіктер: доғалық дәнекерлеу үдерістерінде олар металдың төмен оқшауланған кемшілігінен болады. Олар негізгі металдан және дәнекерлеу аймағы шегіндегі алдыңғы

немесе кері жағының бетіндегі өткір сызықты түзеді. ЛСВП үдерістеріндегі кесіктер балқытылған аймақтың екі жағынан дәнекерлеу жіктерін басудан жиі туындайды. Олар шамадан тыс дәнекерлеу жылдамдығы немесе шамадан тыс қуаттылықтан түзіледі. Негізінен титан қорытпаларды дәнекерлеуде кездеседі;

– жеткіліксіз қалыңдық: ол дәнекерлеу аймағындағы балқытылған металл коллапсымен туындаған, онда келесі әр түрлі себептер болуы мүмкін:

- пісірілетін бөліктер арасындағы шамадан тыс саңылаудан материал кемшілігі,

- тегіс жағдайда тығыз бөліктерді дәнекерлеуде (шектер: 20 мм ЭЛ дәнекерлеу үшін, лазерлік сәулемен дәнекерлеу үшін 15 мм),

- шамадан тыс қуаттылық тығыздығы;

– жылжулар: бұл екі пісірілетін бөліктер арасындағы жағдайлардың өзгеруімен байланысты. Осы жылжу жіктің түбіндегі балқытудың болмауына әкеледі.

Бедерлер (бұрку)

Дәнекерлеуде металды бұрку ілініскен немесе ілініспеген бола алады. Бұл шамадан тыс қуаттың болуымен, жеткіліксіз газбен қорғаудан немесе дәнекерлеу жігінің ішіндегі бөліктің бетінде органикалық материалдардың болуымен, қуаттылықтың шамадан тыс тығыздығымен туындауы мүмкін. Азотталған немесе азотпен бүртіктелген болатты дәнекерлеу осындай дәнекерлеу бедерлерінің түзілуінің себебі бола алады.

2.6.2. Дәнекерлеу жіктерінің сапасын бақылау әдістері

ЛСВП HEDB дәнекерлеу жіктері үшін бұзбайтын сынаулар кішігірім ақауларды анықтауға мүмкіндік береді. Дәнекерлеу жылдамдығы тез және қымбат емес бақылау сынауларының рәсімдерін пайдалануды талап етеді. Бақылауды автономды режимде өткізуге болады (визуализация, рентгенография, ультрадыбыс, магнитоскопия, Фуко тогы және т.б.) немесе жедел бақылау режимінде (плазманы талдау, инфрақызыл термография, камераны визуалды пайдаланумен және т.б.). Жаппай өндірісте автономды бақылау барлық компоненттерге қолданыла алмайды, сол себепті басымдылық жедел бақылауға беріледі. Көбіне жедел бақылау сынамаларды іріктеумен жалғасады. Осы жағдайда бөліктерді таңдауға бұзу сынауы қолданылады.

Бұзғыш сынаулар (қысылған жақтарын қалыптау бойынша сынаулар, металлография және т.б.) ұзақ және қымбат тұратын болып табылады. Алайда олар дәнекерлеудің белгілі бір әсерлерін анықтауға мүмкіндік береді (жарылу, өту немесе қосылудың болмауы) және жинаудың жалпы сапасына әсер етпейді.

2.6.3. Дәнекерлеу жұмыс режимін аттестаттау және стандарттау

ЭЛ дәнекерлеу үдерісі жан-жақты стандарттау жолынан өтті. Лазерлік сәулемен пісір барынша жаңа үдеріс бола отырып, әлі де стандарттау үдерісінде болады. Қазіргі таңда әр түрлі қалыңдықты диапазондары бар екі үдеріс негізгі дәнекерлеу стандарттарына ие. Негізгі қолданыстағы стандарттар келесі түрде болады:

– EN ISO 13.919-1: Дәнекерлеу. Лазерлік және электронды сәулелермен пісірілген қосылыстар. Ақаулар сапасының деңгейлері бойынша нұсқаулық – 1-бөлім: Болат;

– EN ISO 13.919-2: Дәнекерлеу. Лазерлік және электронды сәулелермен пісірілген қосылыстар. Ақаулар сапасының деңгейлері бойынша нұсқаулық – 2-бөлім. Алюминий қорытпалар;

– EN ISO 15.609-3: Электронды сәулемен дәнекерлеу рәсімін сипаттау;

– EN ISO 15.609-4: Лазерлік сәулемен дәнекерлеу рәсімін сипаттау;

– EN ISO 15.614-11: Лазерлік сәуле және электронды сәуле үшін дәнекерлеу жігінің орындалуына сынау.

2.7. Экономикалық факторлар

Кең ауқымды СЛВП үдерістерін дамыту үшін негізгі кедергі осы жабдыққа пайдалану және күрделі шығындар болып табылады. Әлеуетті инвестор үдерістің техникалық артықшылығында сенімді болуы тиіс, бірақ әсіресе оның экономикалық пайдасында. Тез дамытын үдерістер үшін шығындар туралы айту қиын. Біз лазерлік компоненттерді оларды пайдалану және күрделі шығындармен қараумен шектелеміз және кез келген есептеудің тек негізгі элементтерін ғана оқырманға ұсынамыз [SAY 99].

2.7.1. Электронды-сәулелік білдек құны

Машинаның құны келесі факторларға байланысты түрленетін болады:

- таңдалған технология: вакуум немесе вакуум емес,
- электрондарды жылдамдату кернеуі,
- зеңбіректің қуаттылығы,
- білдектің корпусының көлемі,
- зеңбірек және бөліктерді ауыстыру жүйелері.

Осы шарттарда бағасын бағалау қиын. Алайда, кейбір көріністі алу үшін 30 кВт және 1 м³ екінші вакуумді айдауы бар корпуспен жабдықталған білдек шамамен 600 000 евро тұратын болалы.

Пайдалану шығындарына келер болсақ, онда шығындармен шығындалатындар негізінен электр, катодтар және қыздыру жіптері болып табылады, олардың қызмет мерзімі оны пайдалануға байланысты түрленеді, бірақ бірнеше ондаған сағатқа жете алады. Негізгі пайдалану шығындары корпусың және білдек зеңбірегінің тазалығын сақтауда жатыр, ол жабдықтың өнімділігіне (таза корпус айдау уақытының қысқаруына әкеледі) және дәнекерлеу жігінің сапасына (таза зеңбірек оқшаулаудың болмауынан сәуленің үзілу қауіпін төмендетеді) айтарлықтай әсер етеді.

2.7.2. Лазерлік сәулесі бар білдектің құны

Лазерлік жүйені пайдалану мөлшерлемесі еңбекті төлеу және техникалық қызмет көрсетуге шығындар және шығын материалдары, күрделі шығындарды төлеуден тұрады. Жалпы сағаттық мөлшерлеменің барынша ауқымды бөлігі – бұл күрделі салымдардың өтелімділігі.

Құнсыздану

Компаниялар, негізінен амотризацияның барынша қысқа кезеңдерін көздейді (3 жылдан аз). Жалпы инвестициялық шығындарда лазерлік көзге, роботтарға, шеткі жүйелерге, құралдарға, жүйені орнатуға және құрастыруға шығындарды ескеру қажет.

Шығын материалдары

Таңдалған лазерлік жүйеге байланысты болады.

СО₂-лазерінің жүйесі

«Генерациялаушы лазер» газы: тұтыну лазердің қуатына және көзінің типіне байланысты. Тез өстік ағыны бар лазерлер үшін газдың шығыс қуаттылығы төмен, мысалы шамамен 30 л/сағатына гелий жағдайында. SLAB ретінде белгілі лазерлік көздер газды ең төмен тұтынуға ие.

Қорғаныш газ: газ ағынының жылдамдығы 15 - 30 л/мин. құрайды. Ең қымбат газ– бұл гелий, жоғары иондаушы қасиеттерінен ең жиі пайдаланылатын газ болып табылады.

Электр: СО₂-лазерлер электр 5 - 10% КПД-ға ие, құны бұл ретте пайдаланылатын қуаттылыққа байланысты болады. Барлық қондырғы шығынын, соның ішінде кулерді ескеру маңызды.

Техникалық қызмет көрсету: жылдық күрделі салымдардан 5% бағаланады.

Оптика: оптика құны нашар жобаланған оптикалық жолда айтарлықтай арта алады, ол оптикалық жолдағы айналар санына, айналар типіне және фокустеуші баситекте пайдаланылатын қорғаныш жүйелеріне байланысты болады. Ол сондай-ақ рәсімдерге (таза бөліктер, тотықтар немесе майлардың болуы) және жұмыс ортасына байланысты.

YAG-лазерінің жүйесі

Шамдар: құны пайдаланылатын шамдардың санына және олардың қызмет мерзіміне байланысты болады. Үздіксіз YAG-лазерлердегі шамдар 1000 сағат орташа қызмет мерзіміне ие. Шамдардың қызмет мерзімі оларды пайдалануға байланысты болады және 2000 сағатқа дейін жете алады.

Импульсті YAG-лазер үшін өмірдің ұзақтығы импульстер саны түрінде көрсетіледі ол бірнеше миллион импульске жете алады.

Қорғаныш газ: аргон газдың шығын деңгейлерімен салыстырылатын CO₂-лазерінің жағдайына қарағанда пайдалануда барынша қолайлы болып табылады.

Электр: YAG-лазер шамды айдаумен барынша төмен электр КПД, CO₂-лазерге қарағанда, шамамен 1 ден 3%. YAG-лазер диодты айдаумен барынша жақсы КПД ие - шамамен 10%. Электр энергияны тұтыну әрине лазердің қуатына байланысты.

Талшықты-оптикалық: олар қалыпты пайдалану нашарламауы тиіс. Алайда оларды мүмкін ауыстыру немесе жөндеуді көздеу қажет.

Фокустеуші оптика: олар олардың шыныдан қорғалуының арқасында сирек ауыстырылады. Олар мырыш, селен немесе айнаға қарағанда аз.

Қорғаныш шынысы: қолдану қарқындылығына байланысты жиілікпен шыны айнаны тұрақты ауыстыруды көздеу қажет.

Қазіргі уақытта лазерлік жүйені таңдау келесі төрт кезеңде жүзеге асырылады:

1) импульстік немесе үздіксіз режимді таңдау: осы таңдау талап етілетін жұмыс жылдамдығы деңгейімен және қолдану типімен анықталады (пісірілетін материал, қалыңдығы, өзгеру және т.б.);

2) лазер типін таңдау (YAG немесе CO₂): икемділік (талшық немесе айна), қалыңдықты дәнекерлеу (қол жетімді қуаттылық), материалдар (толқын ұзындығы);

3) Шамды немесе диодты айдаумен YAG-лазер: аталмыш сұрақ диодты айдауы бар YAG-лазерлерді жақында әзірлеуден жиі көтеріледі. Осы лазердің артықшылығы оның сәулелеріні анық емес жоғары сапасы болып табылады. Алайда екі жүйелердің пайдалану шығындары арасында салыстыру қажет. YAG-лазер диодты айдаумен шамдарды ауыстыруды талап етпейді, ал оның электр КПД жоғары.

Алайда лазерлік диодтардың жоғары құны әдеттегі YAG-лазерге қарағанда оның күрделі шығындарын барынша жоғары етеді, ол оны пайдалану құнын айтарлықтай ұлғайтады. Лазерлік диодтар құнын төмендету күтілуде және ол аталмыш жағдайды өзгерте алады;

4) механизацияланған жүйені таңдау: көп буынды роботты немесе декартты роботты таңдау лазердің типін таңдау және қолдануға байланысты болады (YAG немесе CO₂). Декартты роботқа күрделі шығындар көп буынды роботқа қарағанда сөзсіз жоғары.

2.8. Қауіпсіздік [НЕС 00]

Өнеркәсіпте лазерлерді пайдалану салыстырмалы жақында болды және технология тез дамып келеді, ол Еуропадағы, сондай-ақ Франциядағы заңнамалық реттеудегі кемшіліктерді түсіндіреді. Негізгі анықтамалық мәтін NF EN 60.825-1 «Лазерлік жабдықтың қауіпсіздігі. 1-бөлім. Пайдаланушы нұсқаулығы және жабдықтың жіктеулері, талаптар» стандарты болып табылады. Белгілі бір сұрақтарды қамтитын басқа байланысты стандарттар: стандарт NF EN 12.626, 1997 ж. желтоқсан «Білдектердің қауіпсіздігі. Лазерлік білдектер. Қауіпсіздік ережелері» және NF EN 207 стандарттары «Лазерлік қорғаныш көзілдіріктері» және NF EN 208 «Лазерді реттеуге арналған қорғаныш көзілдіріктері», 1998 ж. желтоқсан

Лазерді пайдаланудағы тәуекелдің негізгі аймағы көз болып табылады. Олар лазердің физикалық қасиеттерінен шығады. Олардың толқындарына сәйкес белгілі бір сәулеленулер торға беріледі және көзбұршақпен фокустеледі. Тордағы қуаттылықтың алынған тығыздығы шынайыға қарағанда 5,106 есеге жоғары болады. Мұнда тор көрінетін немесе жақын инфрақызыл спектрдің сәулеленуіне ерекше осал (0,4 тен 1,4 мкм-ге дейін). Және егер тормен алынатын энергия жағдайында шамадан тыс тығыздыққа ие болса, ол орнына келмейтін зақымдануға әкелуі мүмкін. Стандарт NF EN 60.825 олардың тәуекелдеріне сәйкес әр түрлі лазерлерді жіктейді.

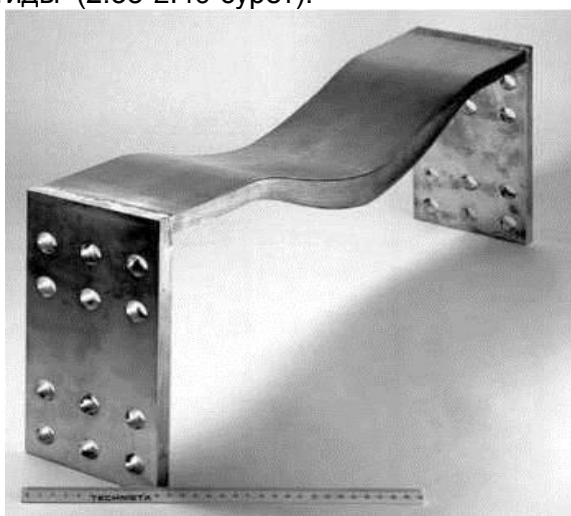
ЭЛ дәнекерлеу аппараттары үшін өндіруші қабылдайтын қауіпсіздік шараларының

көмегімен бақыланатын жоғары кернеудің болуымен байланысты тәуекелдерден басқа, негізгі тәуекел бұрын да айтыландай рентгендік сәулелердің сәулеленуі болып табылады. Дайындаушы қабылдаған сақтандыру шаралары жеткілікті болуы тиіс және машинаны жеткізу кезінде ерекше назардағы зат болып табылады. Осылайша, пайдаланушы жабдықты, атап айтқанда оның копрусын биологиялық экранлардың қызмет ету дұрыстығын тексерусіз түрлендіруге міндетті емес.

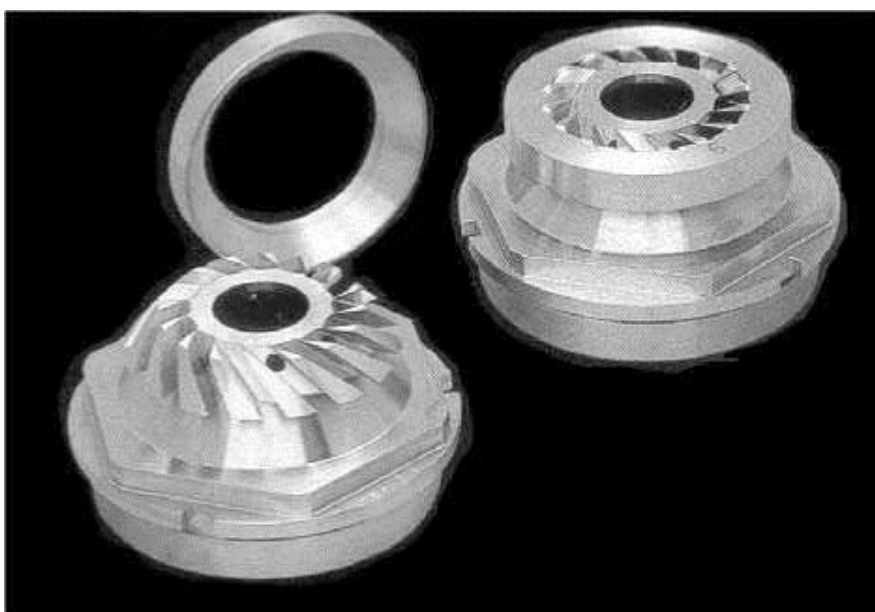
2.9. Өнеркәсіптік қолдану мысалдары

2.9.1. Электронды-сәулелік дәнекерлеу

ЭЛ-дәнекерлеуді өнеркәсіптік қолданулар қазіргі уақытта жақсы белгілі және автомобильдіен (трансмиссия компоненттері) және авиациялықтан бастап (реактивті қозғалтқыштар өндірісі) әр түрлі бөліктер немесе датчиктер өндірісіне дейінгі өнеркәсіп салаларының барлығын қамтиды (2.38-2.40-сурет).



2.38-сурет. Электр мыс қосылыс (+Techméta құжаты)



2.39-сурет. Тот баспайтын болаттан турбина

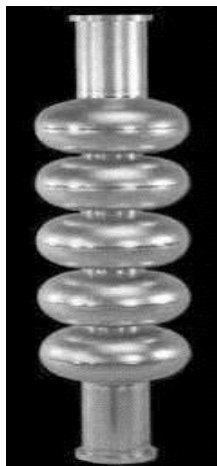
2.9.2. Лазерлік дәнекерлеу

Келесі кестеде кейбір белгілі өнеркәсіптік қолданулардың белгілі бір қосымшалар тізімі.

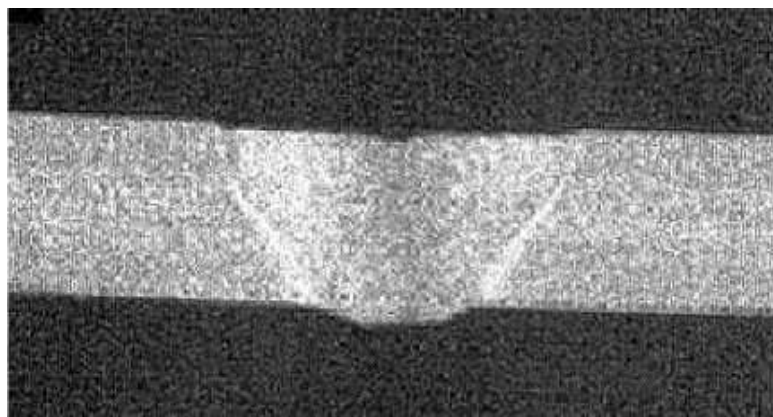
Қосымша	Өнеркәсіп	Лазердің типі	Материалдар	Қалыңдығы
Әзірлемелерді дәнекерлеу	Автопром	CO ₂	Жабыны бар немесе жабынсыз қоспасыз болат	0,7 - 2 мм
Автомобиль шанағы	Автопром	Үздіксіз YAG	Жабыны бар қоспасыз болат	1,2 мм
Беріліс қорабының тегершіктері	Автопром	CO ₂	Қоспасыз болат	2 - 5 мм
Құбырлы радиаторлар	Жабдық	Импульстік YAG	Қоспасыз болат	1 мм
Құбыр өткізгіштер	Авиация	CO ₂	Титан қорытпа	1 мм
Күшейту профилдері	Авиация	Үздіксіз YAG немесе CO ₂	Алюминий қорытпа	1 - 4 мм
Пластинкалы жылу алмастырғыш	Тағамдық	CO ₂	Тот баспайтын болат	2 мм-ге дейін
Корпусты қаптау	Электроника	Импульстік YAG	Алюминий, титан, никель қорытпалары	1 мм
Майлы фильтрлер	Автопром	Үздіксіз YAG	Алюминий қорытпа	1 мм
Кардиостимуляторлар	Медицина	Импульстік YAG	Титан қорытпалар	0,5 мм
Құбырлар	Металлургия	CO ₂	Қоспасыз немесе әлсіз қоспаланған	5 - 16 мм
Меңгерікті күшейткіш	Автопром	Үздіксіз YAG	Қоспасыз болат	2 мм
Қауіпсіздік жастықтарын іске қосқыш	Автопром	Импульстік YAG, үздіксіз YAG немесе CO ₂	Алюминий қорытпа, тот баспайтын болат	0,5 мм

2.10. Әрі қарай даму келешектері

Осы екі үдеріс бір-біріне қарама-қарсы ретінде сирек болады. Ол осындай болып табылмайды, себебі әр үдеріс оны нақты өнеркәсіптік қолдануға барынша бейімделген ететін белгілі бір артықшылықтарға ие.



2.40-сурет. Шамадан тыс өткізетін ниобилі шағылдырғыш(Techméta құжаты)



2.41-сурет. 18 м.мин⁻¹ дәнекерлеу жылдамдығымен, 7,5 кВт тұтынылатын қуаттылықпен, 1,25 мм қалыңдықпен алюминилі қорытпалы автомобиль әзірлемелерін дәнекерлеу (igm Steigerwald Strahltechnik құжаты)

Электронды-сәулелік дәнекерлеу 1970 жылдары өзінің шарықтау шегіне жетті. Қолдану салалары ядролық, авиациялық және автомобиль өнеркәсібі болды. Оның негізгі кемшілігі вакуумдік корпус болып табылады. Дегенмен қазіргі уақытта автомобиль өнеркәсібіне арналған вакуумдік емес дәнекерлеу аппараттарын әзірлеуге қызығушылықты жаңарту байқалады (2.41-суретті қараңыз).

Алайда, бірнеше жылдар бойы жеткілікті қуатты лазерлік көздердің пайда болуы кейбір жағдайларда айдаудың болмауымен байланысты жоғары өнімділіктен ЭЛ дәнекерлеуді лазерлік дәнекерлеумен ауыстыруға әкелгенін атап өткен жөн. Лазерлік дәнекерлеу үдерістерін дамытудың негізгі бастамашысы автомобиль өнеркәсібі болды. Осылайша, механикалық компоненттерді дәнекерлеуден кейін жұқа табақты дәнекерлеу әзірленді (беріліс қорабының тегершіктері). Металлургтер жеке тапсырыс бойынша пәсіру әзірлемелерін дайындай бастады және қазір өндірушілер үздіксіз өндірістік желіге корпустарды нүктелі дәнекерлеу технологиясына қаржы салуда.

Электронды-сәулелік дәнекерлеу аппараттары ауқымды әзірлемелер пәні болып табылмайды, ол кезде лазерлік жүйелер тез дамуда. СО₂-лазерінің көздері барынша ықшам, ал сәулелер барынша жоғары сапалы. Шығын материалдарын қысқарту бойынша жұмыста маңызды күштер салынады. Барынша ауқымды әзірлемелер диодты лазерлермен және YAG-лазерінің көздерімен байланысты.

Цилиндр шыбықтармен неодилі YAG-лазердің үздіксіз көздерінің қуаттылығы талшықты оптика бойынша тасымалдаумен сәйкес келетін сәуленің сапасын алу үшін техникалық 5 кВт-қа шектелген. Лазерлік диодты айдаумен жүйелердің пайда болуы сәуленің эквивалентті сапасымен қуаттылықты арттыруға мүмкіндік береді. YAG-лазердің үздіксіз дискті жүйелері саласындағы жалғасатын әзірлемелер сәуленің сапасын әрі қарай жақсартуға

әкеледі және осы көздердің қуаттылығын ұлғайтуға әкеледі.

Лазерлік диодтарды пайдаланатын лазерлер, сондай-ақ дәнекерлеуде пайдалану фокустеуші сәулені жақсартумен байланысты толқынның төмен ұзындығы және өзінің жоғары қуаттылығынан келешекті болып табылады.

Өзірлеулер бойынша жобалар арасында шеткі жүйелер туралы ұмытпаған жөн, олар жедел бақылау жүйелерімен және дәнекерлеу қосылыстарын басқару жүйелерімен байланысты.

Лазерлік дәнекерлеу үдерісінің өнімділігін арттыру үшін электр доғасы бар лазерлік сәулені біріктіру бойынша зерттеулер өткізіледі. Үдерістің аталмыш жаңа түрі аталмыш үдерістің көптеген артықшылықтары бар гибриді лазерлік дәнекерлеу деп аталады, олар:

- бөліктер арасындағы рұқсат етілетін саңылауды ұлғайту,
- лазердің эквивалентті қуатылығындағы жылдамдықты ұлғайту,
- лазер-материал өзара әрекетін жақсарту (алюминий қорытпалар),
- қондыру сымын қосу және суыту жылдамдығы, қатаю жылдамдығын төмендету есебінен дәнекерлеу металлургиясын жақсарту (ыстық жарылуға сезімталдықты төмендету).

Аталмыш үдеріс көп мәнді көрінеді және лазерді қолдану диапазонын кеңейтуі тиіс.

2.11. Пайдаланылган әдебиеттер тізімі

[BAR 98] BAROUILLET C., CHEHAÏBOU A., “Soudage par faisceau laser CO₂ d'un acier inoxydable martensitique à durcissement direct – Influence de l'azote comme gaz de protection”, 6th CISFFEL, vol. 1, 1998.

[BOI 98] BOILLOT J.P., “La vision laser à haute vitesse, un atout indispensable pour...”, 6th CISFFEL, vol. 1, 1998.

[CHE 93] CHEHAÏBOU A., GOUSSAIN J.-C., BAROUILLET C., “Etude de la sensibilité à la fissuration à chaud des aciers inoxydables austénitiques soudé par faisceau laser”, 5th CISFFEL, vol. 1, 1993.

[CHE 98] CHEHAÏBOU A., GOUSSAIN J.-C., KNISPEL D., “Soudage par faisceau laser CO₂ de différentes nuances d'alliages d'aluminium”, 6th CISFFEL, vol. 1, 1998.

[COL 97] COLLECTIF, Etude du soudage par faisceau laser des aciers de mécanicien dans le cas d'un emboîtement – Investigation pour cerner la limite des nuances soudables, Rapport Institut de soudure no. 31729 (study financed by Cetim), November 1997.

[DEL 56] DELONG W., OSTROM G., SZUMACHOWSKI E., “Measurement and calculation of ferrite in stainless steel weld metal”, Welding Journal, vol. 35, no. 11, 1956.

[FRI 98] FRITZ D., LAZARENKO O.K., IRIÉ H., ABE N., OHMINE M., “Forty years of electron beam welding and material processing”, 6th CISFFEL, vol. 1, 1998.

[HAV 96] HAVRILLA D., Laser welding design and process fundamentals and troubleshooting guideline, Document Rofin Sinar, May 1990, revised 19 April 1996.

[HEE 00] HEE G., MEREAU P., DORNIER G., Les lasers, Document INRS ED 5009, 2000.

[HER 86] HERZIGER G., “The influence of laser-induced plasma on laser materials processing”, in David Belforte and Morris Levitt (eds.), The Industrial Laser Handbook, Penwell, 1986.

[MAI 84] MAILLET H., Le Laser – Principes et Techniques d'Application, Lavoisier, 1984.

[MUR 94] MURRY G., “Soudage et soudabilité métallurgique des métaux”, Techniques de l'ingénieur, M 715, 1994.

[POW 00] POWERS D., SCHUBERT G., “Electron beam welding: the useful tool for the automotive industry”, Welding Journal, p. 35-38, February 2000.

[ROE 86] ROESSLER D.M., “An introduction to the laser processing of materials”, in David Belforte and Morris Levitt (eds.), The Industrial Laser Handbook, Penwell, 1986.

[RYK 74] RYKALINE N. N., Les sources d'énergie utilisées en soudage, Assemblée annuelle de l'Institut international de la soudure, Doc. IIS/IIW-465-74, Budapest, 1974.

[SAY 99] SAYEGH G., “Eléments à considérer dans l'évaluation économique d'un investissement laser”, LaserAP3, Sarlat, 1999.

[SCH 49] SCHAEFFLER A.L., “Constitution diagram for stainless steel weld metal”, MetalProgress, vol. 56, no. 11, p. 680, 1949.

[SUU 79] SUUTALA N., KUJANPAA V., TALAKO T., MOISO T., “Correlation between solidification cracking and microstructure in austenitic-ferritic stainless steel welds”, Welding Research Int., vol. 2, p. 55, 1979.

3 тарау

Термиялық әсер ету аймағындағы термиялық, металлургиялық және механикалық құбылыстар

Қағида бойынша дәнекерлеу операциялары металлургиялық құрылыммен қосылатын бөлшектерді жергілікті қасиеттерін айтарлықтай өзгертеді. Кейбір төтенше жағдайларда олар жарылу, кеуектілік немесе морттықтың өсуі сияқты жергілікті ақаулардың себебі болуы мүмкін. Сондықтан термиялық дәнекерлеу циклдары және жиналатын бөлшектердің химиялық құрамыс ияқты әртүрлі факторлардың әсерін нақты түсіну маңызды.

Осы тарауда біз келесілерді дәйекті түрде қарастырамыз:

- дәнекерлеу операцияларымен байланысты ерекше термиялық құбылыстар;
- микроқұрылымдық өзгерістер және осы термиялық құбылыстарға байланысты негізгі металлургиялық салдарлар;
- балқытылған металға іргелес аймақта, яғни *термиялық әсер ету аймағында* (ТӘА) механикалық қасиеттерінің өзгеруі.

3.1 Дәнекерлеудің термиялық аспектілері

Олардың әртүрлі болуына қарамастан, дәнекерлеу үдерістері жалпы сипаттамаға яғни жылудың шектелінген концентрациясына ие болады.

Осылайша, дәнекерлеу операциясы кейін салқындатылатын бірінші кезекте аралас салаларда өткізгіштігі бар, өте жоғары температурада заттың аз мөлшерінің қысқа өтімі ретінде сипатталуы мүмкін: суық жапсарлас металл, қысқыш құралдар, электродтар (нүктелік дәнекерлеу жағдайында). Осылайша, дәнекерлеу аймағына жақын кез келген нүктедегі термиялық цикл дәнекерлеу мен байланысты жылуды әкетеді және үдеріске қатысты айнымалыға (тиімді өткізілетін жылу мөлшері), материалға (жылу өткізгіштігі) және құрастыру конфигурациясына байланысты болады. Мұндай жергілікті қыздыру жылу көзін (түйіспелі дәнекерлеу немесе термитті дәнекерлеу жағдайында) немесе жылу көзін бөлшектерге қатысты ығыстырмай (көбінесе доғалы және лазерлік дәнекерлеу кезінде) жүзеге асырылуы мүмкін.

Екінші жағдайда, егер тұрақты қозғалу жылдамдығы қарастырылса, квазистационарлық режимнің жылу сипаттамалары анықталуы мүмкін, бұл жағдайда көпайналасындағы температураны қайта бөлу уақытқа қатысты тұрақтыны санды қабылдайды.

1935 жылы жылу өткізгіштіктің қысқартылған теңдеуін Розенталь ұсынды, ал Рекал [RYK 61], Клайд және Адам соларды әрі қарай жетілдірді [CLY 58]. Негізгі ережелер келесідей баяндалады: егер x осі бойымен тұрақты жылдамдықпен қозғалатын q жылудың нақты көзін елестетсек, жылудың дифференциалды теңдеуі бірқатар координаттар түрінде жазылады (x, y, z) (3.1-суретті қараңыз):

$$\alpha \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) = \frac{\partial \theta}{\partial t}$$

[3.1]

мұнда:

- θ : температура;
- t : уақыт;
- α : материалдың жылу өткізгіштік коэффициенті ($\text{м}^2 \text{сек}^{-1}$) = $\lambda / \rho C$, мұнда:
- λ : жылу өткізгіштігі ($\text{Дж} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{сек}^{-1}$),

ρC : көлем бойынша жылу шығару қабілеттілігі ($\text{Дж} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{К}^{-1}$).

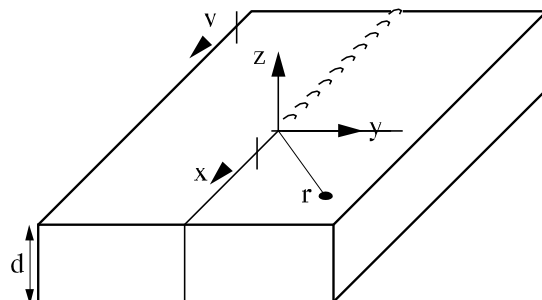
Мобильді координаттар жүйесі орнату арқылы жылу көзіне қатысты анықталуы мүмкін:

$$\xi = x - vt.$$

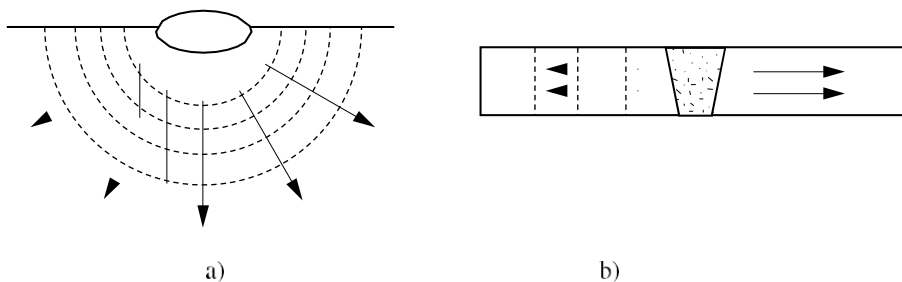
Стационарлық режимде $\left(\frac{\partial \theta}{\partial t} = 0\right)$, алдыңғы теңдеу келесідей жазылады:

$$\alpha \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) = -v \left(\frac{\partial \theta}{\partial \xi} \right)$$

[3.2]



Сурет 3.1. Жылу көзі тұрақты жылдамдықпен v қозғалатын координаттар жүйесін анықтау



Сурет 3.2. «Қалың» (а) немесе «жұқа» бұйымдарды (б) дәнекерлеу кезіндегі жылудың сұлбалы қағыны

[3.2] теңдеуін әртүрлі екі жағдайды қарастырып шешуге болады (3.2-сурет).

«Қалың»¹ бұйымды дәнекерлеген жағдайда жылуды әкету негізінен жылу көзіне қатысты радиалды түрде болады. Кез келген сәтте уақытпен қашықтыққа байланысты температураның өзгеруі:

$$\theta = \theta_0 + \frac{q/v}{2\pi\lambda t} e^{-\frac{r^2}{4\alpha t}}$$

жұқа немесе қалың бұйымдар ұғымдары нақтырақ кейін анықталады.

мұнда:

- r : жылу көзіне қатысты қарастырылатын кедергі нүктесі

$$(r = \sqrt{\xi^2 + y^2 + z^2});$$

- q : термиялық үлес(Дж);

- v : жылу көзінің жылжу жылдамдығы (м/сек). q/v теңдеу мүшесі желілік энергияны немесе дәнекерлеу қосылысының ұзындығының бірлігіне әсер ететін жылу мөлшерін білдіреді;

- θ_0 : бастапқы температура.

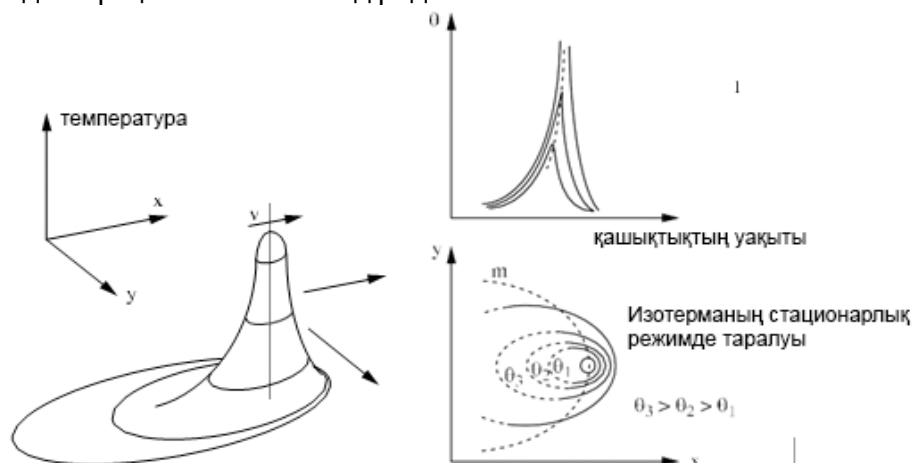
Жұқа бұйымдарды дәнекерлеу жағдайында тереңдігі бойынша жылу өткізгіштігі аз болады. Осылайша, изотермалар бұйымдардың бетіне қатысты перпендикуляр орналасады. [3.2] теңдеудің қысқартылған шешімі келесідей жазылады:

$$\theta = \theta_0 + \frac{q/v}{d(4\pi\lambda\rho C t)^{1/2}} e^{-\frac{r^2}{4\alpha t}} \quad (3.4)$$

Мұнда d дәнекерленетін бұйымдардың қалыңдығын білдіреді.

Портевин мен Сефериан [POR 34] [3.3] немесе [3.4] теңдеулерінде көрсетілген кеңістіктік қатынастарда дәнекерлеу температурасын белгілеу үшін графикалық бейнені, термиялық денені ұсынды. 3.3-суретте аталған сұлбалық көрінісі көрсетілген: Ох осі дәнекерлеу бағытын көрсетеді (х қашықтықты, сондай-ақ уақытты көрсетеді), Оу осі дәнекерлеу қосылысы осі не дейінгі қашықтықты, ал Oz ось – температураны көрсетеді.

Осыке қатысты берілген арақашықтықтағы (тіркелгену₁) термиялық цикл $\theta(t)$ термиялық дененің у₁-те (хOz) параллель жазықтықпен қиылысуы мен сипатталады. Сонымен қатар, берілген температурада θ_1 изотерманың пішіні θ_1 -гепараллель (хOу) термиялық қатты дененің қисық жазықтығы мен сипатталады. Осы соңғы көріністің көмегімен жұқа немесе қалың бұйымдарды дәнекерлеу кезінде температураны бөлудегі айырмашылықтарды бағалауға болады (3.4-суреттің іқараңыз). Осылайша, изотерманың желісі жылу көзін өткізер алдында әлде қайда тығызырақ екенін байқауға болады, бұл температураның жоғарылауы (қыздыру фазасы) төмендеуге қарағанда (салқындату фазасы) жылдамырақ болатынын білдіреді.

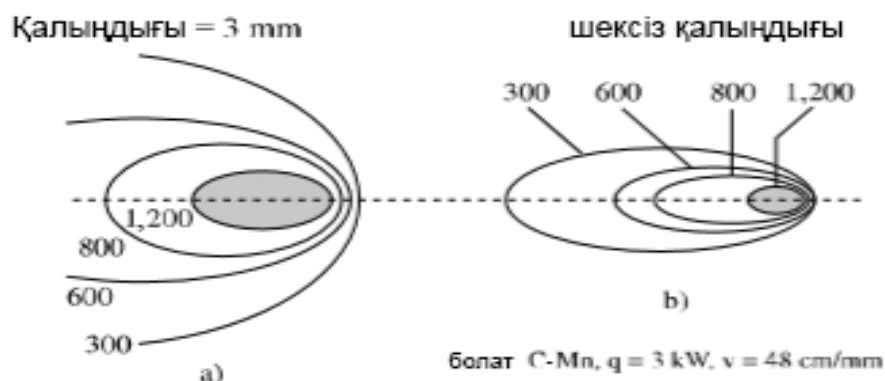


Сурет 3.3. Мобильді көзде дәнекерлеу температурасын үлестіруді үшөлшемді моделдеу; [EAS 83]-тен алынған

Жылуды таратудың соңғы жылдамдығына байланысты дәнекерлеу осіне параллель барлық талшықтар бір уақытта шекті температураға жетеді. Осы максимумға сәйкес келетін нүктелердің кестесі қисық (м) болып табылады. Жылу көзінің ығысу бағытына қатысты осы қисықтан жоғары барлық нүктелер қызу фазасында, ал ішкі - салқындату фазасында болады. Салқындату және қыздыру жылдамдығы тиісінше жоғары болады, себебі, сызықтық энергия (q/v) әлсіз немесе өнім қалың, ал өткізгіштігі көп.

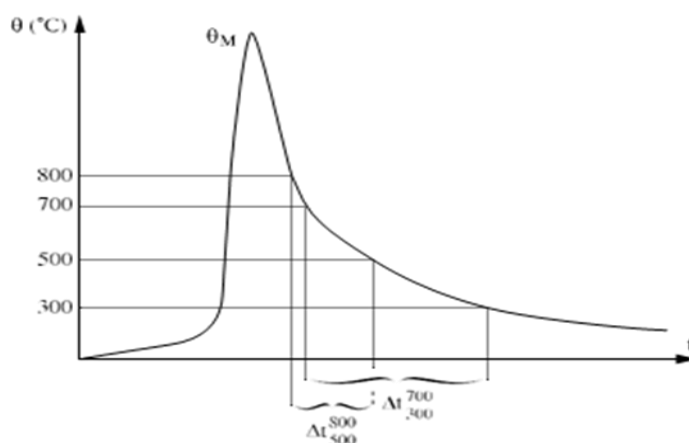
Жұқа бұйымдарды дәнекерлеу кезінде температура үлкен қалыңдықтағы материалдармен салыстырғанда бойлық және көлденең бағытта көбірек бөлінеді. Соңғы жағдайда оның барлық тереңдігі бойынша жылудың таралу айырмашылығы туындайды.

Өткізгіштігі төмен материалдармен (мысалы, аустенитті тот баспайтын болат, $\lambda \approx 0,02 \text{ Вт} \cdot \text{мм}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$) салыстырғанда алюминий ($\lambda \approx 0,23 \text{ Вт} \cdot \text{мм}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$) сияқты материалды дәнекерлеу көзінің ығысуы бойлық бағытта созылғанымен, кеңейтілген изотермиялық бөлуге әкеп соқтырады.



Сурет 3.4. (а) жұқа немесе (б) қалың қаңылтыр болатты дәнекерлеу кезінде бірдей жағдайларда жиналатын температураны үлестіру мысалы; [EAS 85]-тен алынған

Бұл сатыда біз ұсынылған аналитикалық есептеулердің көптеген болжамдарға негізделгенін есте сақтауымыз керек (жылудың үлестік көзі, температураға тәуелді емес термиялық қасиеттері, конвекция немесе сәулелену және т.б. нәтижесіндегі фазалық түрленулер мен жылудың жоғалу салдарынан жасырын жылуды елемеу). Жаңа сандық әдістер (мысалы, [GRO 94, KOV 86, WEI 95, ZAC 93]) параметрлердің кең спектрін ескеруге мүмкіндік бергеніне қарамастан, тәжірибе көрсеткендей, бұл жеңілдетілген тәсіл міндеттердің басым көпшілігін қанағаттанарлық дәлдікпен шешуге септігін тигізеді.



Сурет 3.5. ТҰА-да термиялық циклдің схемалық бейнесі. θ_M , Δt_{300}^{700} , Δt_{500}^{800} параметрлері анықтау:

Келесі кезекте ТҰА-ның кез келген нүктесінде қабылданатын термиялық циклды $\theta(t)$ қарастырамыз. Дәнекерлеу процесінің типіне қарамастан (стационарлық немесе ұялы), ол көбінесе қамтылатыд (3.5-сурет):

- орташа жылдамдығы көбінесе $10^{2^{\circ}\text{C}/\text{сек}}$ болатын (доғалы дәнекерлеу) [DEV 89 лазерлік дәнекерлеу сияқты HDEүдерістері үшін $10^{4^{\circ}\text{C}/\text{с}}$ дейін көтеріледі] қыздырудың өте жылдам фазасы

- шекті температура θ_M кезіндегі өтім. Жалпы осы температура бойынша ұзақтық өте қысқа және аз болған сайын, θ_M соғұрлым жоғары болады;

- салқындаудың жылдам фазасы. Көбінесе жеңілдету үшін берілген екі температура арасында өтетін уақытты осы салқындату қарқындылығын сипаттау қажет:

Δt_{500}^{800} немесе 800 және 500°C арасында, олай болса, салқындату параметрі

- немесе 700 және 300°C Δt_{300}^{700} арасында осы параметр мен алдыңғы арасындағы өзара байланыс әдетте 2 және 4 арасында болады.

Бұл екі критерийдің таңдау марганец-көміртекті болат жағдайында металлургиялық айналымның көпшілігі осы екі температуралық диапазонда орын алатынын дәлелдейді.

Тәжірибе көрсеткендей, бұл соңғы металлургиялық құрылым ТӘА кез келген нүктесінде толықтай дерлік шекті температураға θ_m және бойынша анықталған салқындату параметріне тәуелді. $\Delta t \frac{800}{500}$

Осы екі параметрлерге қатысты кейбір термиялық аспектілер алдағы уақытта толық қарастырылады.

3.1.1 ТӘА-дегі шекті температура

[3.3] және [3.4] теңдеулерінен көрініп тұрғандай, қалың немесе жұқа бұйымдарды дәнекерлеудің тиісті жағдайларында уақытқа байланысты температураның өзгеруін сипаттайды. Шекті температура t_m уақыты кезінде орын алады, сондықтан:

$$\left(\frac{\partial \theta}{\partial t}\right)_{t_m} = 0.$$

($r \rightarrow 0$) болғанда сингулярлықтан құтылу үшін ($\theta_m \rightarrow \infty$) шектелген шарт орындалады: $r=R$ болғанда балқу нүктесі $\theta_m = \theta_f$ тең болады, балқытылған металлдың балқыту радиусы.

Содан кейін келесі өрнек алынады:

- қалың қаңылтырды дәнекерлеу кезінде қол жеткізілетін шекті температура (дәнекерлеудің бағытына перпендикуляр аумағындағы екі өлшемді жылу ағыны):

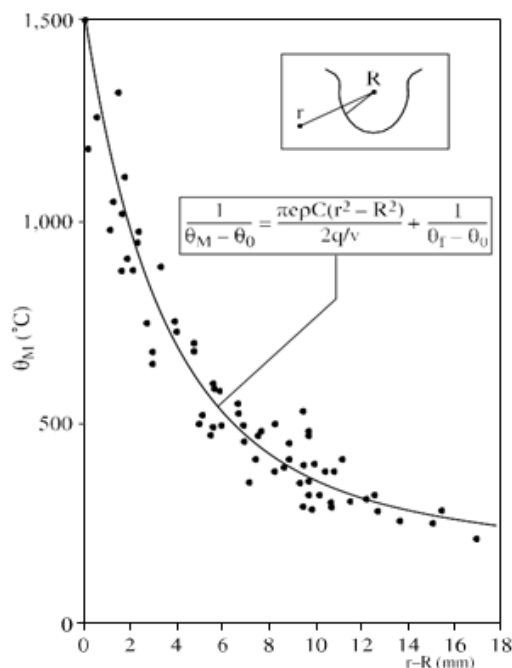
$$\frac{1}{\theta_m - \theta_0} = \frac{\pi \rho C (r^2 - R^2)}{2 q/v} + \frac{1}{\theta_f - \theta_0}$$

[3.5]

-жұқа қаңылтырды дәнекерлеу кезінде қол жеткізілетін шекті температура (дәнекерлеудің бағытына перпендикуляр секциядағы бір өлшемді жылу ағыны):

$$\frac{1}{\theta_m - \theta_0} = \frac{\sqrt{2\pi} \rho C dr}{q/v} + \frac{1}{\theta_f - \theta_0}$$

[3.6]



Сурет 3.6. Балқу сызығына дейінгі қашықтыққа байланысты жоғары температураның эволюциясы.

Тәжірибелер барысында алынған аналитикалық есептелген температурамен температураларды салыстыру (флюспен доғалық дәнекерлеу); [DEV 87] Сонымен, ТӨА-дағы шекті температура балқу сызығына (яғни жұқа материалдарда) немесе оның квадратына (яғни қалың материалдарда) дейін R қашықтығына тең шама арқылы кері өзгереді. Плиталар жағдайында шекті қол жетімді температура бұйымның қалыңдығына байланысты емес.

Өзінің қарапайымдылығына қарамастан, бұл өрнек көбінесе ТӨА шекті өзгеру температурасы туралы нәтижелі көрініс береді. Мұны 3.6-сурет айғақтайды. Мұнда ТӨА-да термиялық циклдардың термо буымен тіркелген тәжірибелік деректерді аналитикалық есеп нәтижелерімен салыстыру ұсынылған (ұсынылған жағдайға қатысты қалың бұйымдарды дәнекерлеу).

3.1.2 ТӨА-дегі салқындату параметрі

Шекті температурада суыту жылдамдығы параметрмен Δt_{500}^{800} , анықталатын ТӨА металлургиялық құрылымы үшін ең маңызды анықтаушы фактор болып табылады. [3.3] және [3.4] өрнектері келесіні есептеуге мүмкіндік береді:

- жұқа қаңылтырды дәнекерлеуге байланысты салқындату параметрі:

$$\Delta t_{500}^{800} = \frac{(q / vd)^2}{4 \pi \lambda \rho C} \left[\frac{1}{(500 - \theta_0)^2} - \frac{1}{(800 - \theta_0)^2} \right] \quad [3.7]$$

(температура °C бойынша көрсетілген);

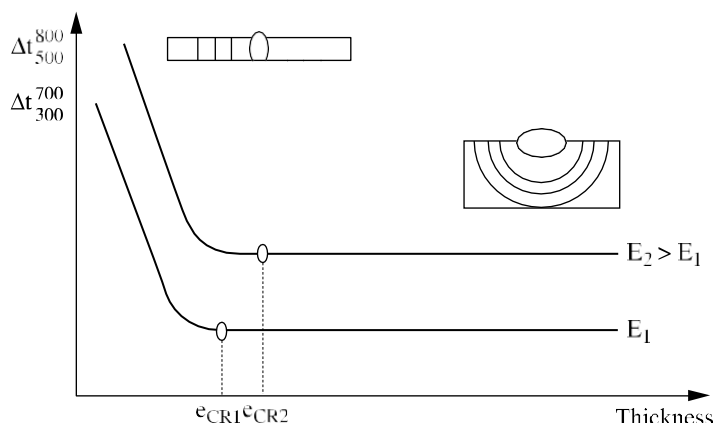
- қалың қаңылтырды дәнекерлеуге байланысты салқындату параметрі:

$$\Delta t_{500}^{800} = \frac{q / v}{2 \pi \lambda} \left[\frac{1}{(500 - \theta_0)^2} - \frac{1}{(800 - \theta_0)^2} \right] \quad [3.8]$$

[DEF 75, MUR 67] дәнекерленген қосылыстар үшін алынған термиялық цикл көрсеткіштері салқындату параметрі бір дәнекерленген қосылыста өте аз өзгертіндігін көрсетеді. Осылайша, әр түрлі балқыту аймақтары салқындату параметрінің бір мәнімен сипатталуы мүмкін.

Сонымен, микроқұрылымның жалғасып келе жатқан эволюциясы жергілікті қол жеткізілген шекті температураға ғана байланысты және барлық нүктелер бірдей салқындату жылдамдығына ұшырайды.

Салқындату параметрін дәнекерлеу жағдайларымен дәл байланыстыру қажет: егер дәнекерлеу қосылыстары әртүрлі қалыңдықтағы бұйымдардан бастап, дәнекерлеудің желілік энергиясын түрлендіру кезінде жүргізілсе, онда осы жағдайларға байланысты салқындату параметрінің өзгеруі 3.7-суретте ұсынылған.



Сурет 3.7. Салқындату параметрлеріне дәнекерлеудің қалыңдығы мен желілік энергиясының әсері

– Өнімнің белгілі бір қалыңдығынан тыс салқындату параметрі өзгермейді.

Қалыңдық шегі деп аталатын мұндай сыни қалыңдығы, тиісінше, дәнекерлеу энергиясы көп болған сайын соғұрлым жоғары болады. Осылайша, дәнекерлеу тұрғысынан бұйым, егер оның қалыңдығы қалыңдық шегінен асатын болса, осы дәнекерлеу энергиясы үшін «қалың» болып саналады.

– Шын мәнінде, қалыңдық шегінің бұл ұғымы дәнекерленген қосылыстағы жылу шығару сипатының модификациясы болып табылады: бұйым жазықтығына қатысты қалыпты изотермалар арқылы жылу ағыны шегінен төмен екі өлшемді. Осы шектерден тыс, үш өлшемді ағын және изотермалар цилиндрлік пішінді қабылдайды. Бұл екі режимнің арасында изотермиялық нысаны компоненттің төменгі бөлігінде сәулеленудің әсеріне ұшырайтын өту аймағы бар.

– Іс жүзінде осы құбылыста кездесетін дәнекерлеудің сызықтық энергиясын (алдыңғы өрнектердегі q/v шамасы) анықтау маңызды. Бұл өнім:

– Дәнекерлеу параметрлері арқылы анықталатын E_e сызықтық электр энергиясы: мысалы, U кернеуімен және I ток күшімен орындалған доғалық дәнекерлеу кезінде теңдеуді келесідей жазуға болады:

$$E_e = \frac{UI}{v}$$

мұнда E көбінесе кДж/см арқылы есептеледі;

– электр энергиясының, берілетін бұйымның нақты энергиясы мен электр энергиясының арақатынасын сипаттайтын пайдаланылатын дәнекерлеу үдерісіне тән η_p термиялық тиімділік коэффициенті. 3.1-кестеде жалпы қабылданған мәндер келтірілген.

Кесте 3.1. Әртүрлі дәнекерлеу үдерістерінің термиялық тиімділік коэффициенті; [CHR 65, CON 87, DEV 85, GRO 94, ION 97, NIL 75]

Дәнекерлеу үдерісі	Термиялық ПӘК η_p
Флюспен доғалық дәнекерлеу	0.9 бастап 1 дейін
Жабыны бар электродтармен дәнекерлеу	0.7 бастап 0.85 дейін
Инертті газдағы балқымалы электро-дарқылы дәнекерлеу	0.7 бастап 0.85 дейін
Инертті газда вольфрамды электродпен дәнекерлеу	0.2 бастап 0.8 дейін
Электронды сәулелі дәнекерлеу	0.8 бастап 0.95 дейін
Лазер	0.4 бастап 0.7 дейін

Инертті газда вольфрам электродымен дәнекерлеудің тиімділігі көбінесе төмен болады және көптеген факторларға байланысты: қарқындылығы, тұрақты немесе айнымалы ток, қорғау газы және т.б. Осыған ұқсас, лазерлік дәнекерлеу тиімділігі бұйымның шағылысу қабілетіне байланысты түрленеді: мыс немесе жылтыратылған алюминий бұйымдар үшін төмен тиімділігі (және, демек, сәулелің енуі) графит немесе мырыш фосфатының жұқа қабатын балқыту арқылы артуы мүмкін.

$$\eta_G = \frac{180}{270} = \frac{2}{3}$$

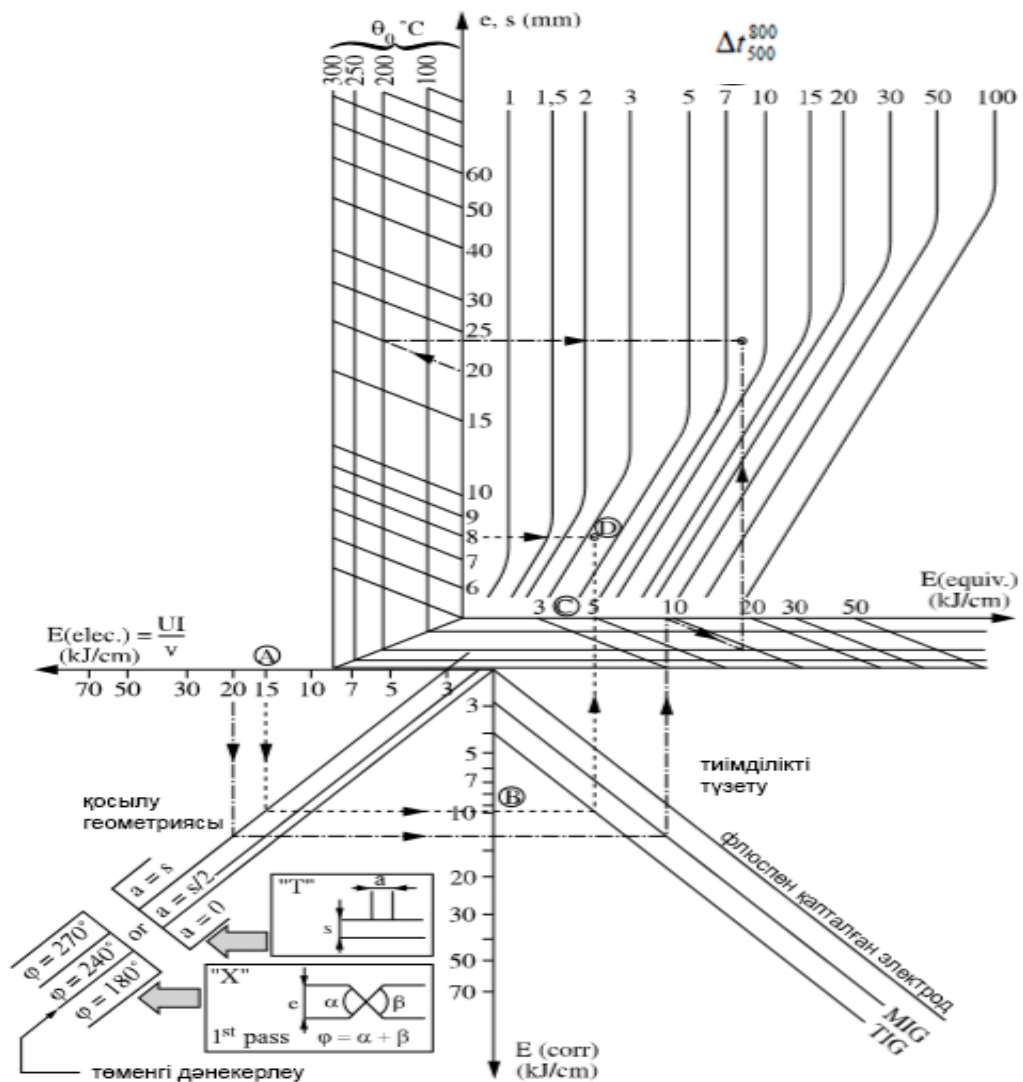
Сызықтық дәнекерлеу энергиясы, сондай-ақ балқыту және құрастыру геометриясымен байланысты η_G коэффициентінің туындысы болып табылады. Анықтама бойынша, жазық балқыту (180° бұрышындағы жылу диффузиясы) келесі түрде орындалады: $\eta_G = 1$. Т-тәрізді құрастыру (270° кезінде жылу диффузиясы) коэффициентпен сипатталады

Бұл тәсілді күрделі мысалдар үшін жалпылауға болады (X-бейнелі, V-бейнелі қимасын дайындау және т.б.).

Желілік дәнекерлеудің тиімді энергиясы ретінде жазылады:

$$E = \eta_p \times \eta_G \frac{UI}{v}$$

Сонымен қатар бұлшама дәнекерленетін бұйымдардың қалыңдығының термиялық дәнекерлеу режимін анықтауға мүмкіндік береді: теориялық және тәжірибелік тәсілге негізделген [BER 72] зерттеуде, Дж. Бернارد дәнекерлеу кезінде жылу беру қалай жүргізілетіндігі бойынша қалың және жұқа бұйымдардың шекарасын орнатты.



Сурет 3.8. Дәнекерлеу шарттарына сәйкес салқындату параметрін анықтау графигі;

[ATS 80] Алдын ала қыздыру сатысы болмаған кезде ($\theta_0=20^\circ\text{C}$), егер оның қалыңдығы d (мм) болса, Δt_{500}^{800} критерийіне негізделе отырып, бұйымды қалың деп есептеуге болады, бұл:

$$d > 4.5 \sqrt{E}$$

ҚДж/см-де көрсетілген Δt_{300}^{700} критерий жағдайында бұл шартты орындауға болады:

$$d > 6.35 \sqrt{E}$$

Аталған критерийлерге сүйене отырып, [3.7] немесе [3.8.] өрнегіне сәйкес Δt_{300}^{700} параметрінің мәнін есептеуге болады.

Негізге ала отырып, доғалы дәнекерлеу жағдайында әртүрлі параметрлерге қатысты Жедел бағалауды қамтамасыз ету үшін IRSID [ATS 80] мәндерді болжау график әзірленді (3.8-сурет). Сонымен, мысал ретінде біз Т-тәрізді түйіспеде 15 қДж/см энергиясы арқылы инертті газда вольфрам электродымен дәнекерленген қосылысты қарастырааламыз.

Электр энергиясынан бастап (А нүктесі), түйіспе геометриясына (В нүктесі) және үдеріс

тиімділігіне байланысты түзетулер 5 кДж/см тең Е (С нүктесі) энергиясына әкеледі. Бұл шарттарда қалыңдығы 8 мм материалдарды дәнекерлеу 4 секунд ішінде (D) мәнін береді.

Басқа мысал (20 кДж/см кезінде инертті газ ортасында балқитын электрод пен дәнекерлеу), қалыңдық пен тиімді энергияны түзету арқылы алдын ала қыздырылған температураны қалай ескеру керектігін көрсетеді (200°C).

3.2-кестеде көрсетілгендей, әртүрлі дәнекерлеу үдерістеріне үшін пайдаланылатын қалыңдық диапазонында бақыланатын салқындату жылдамдығының кейбір типтік мәндері жинақталған.

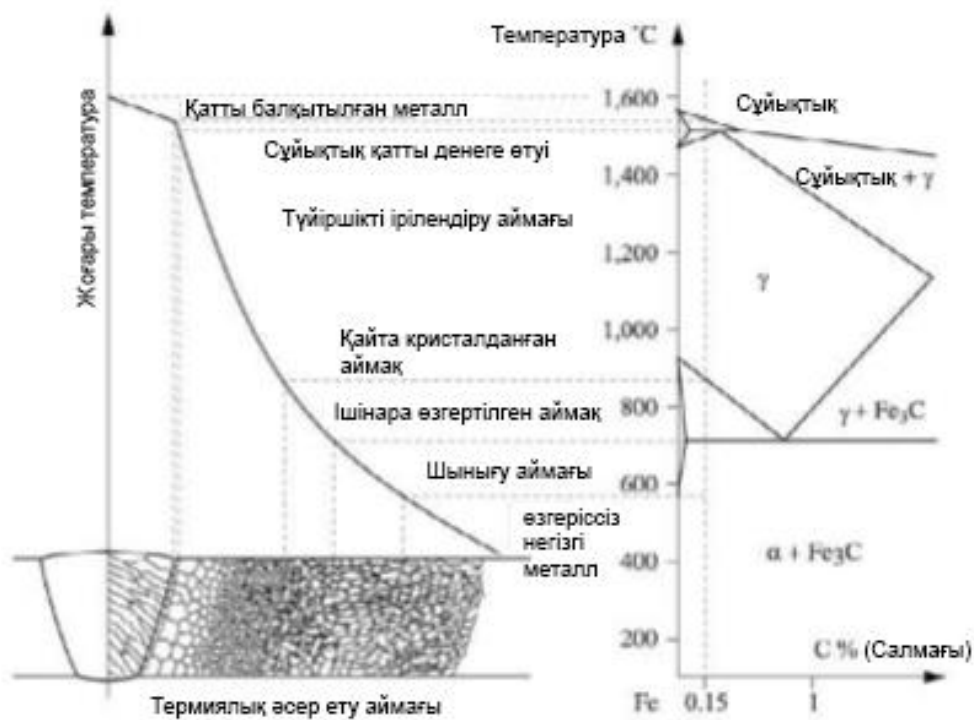
Кесте 3.2. Әртүрлі дәнекерлеу үдерістеріне тән салқындату жылдамдығының мәні

Дәнекерлеу үдерісі	Желі (нүктелік дәнекерлеу, орамдағы дәнекерлеу)	Вольфр. Электродпен түйіспелі электр дәнекерлеу кедергісімен, плазмалық	Лазерлік	Балқыту арқылы	Жабын электрод арқылы	Инертті газдағы балқытылған электрод арқылы	Флюс астындағы доға	Электршлакты, электргазды
	< 1 сек	< 3 сек	< 5 сек	1-10 сек	2-15 сек	4-30 сек	5-50 сек	100-250

3.2 ТӘА-дағы микроқұрылымды өзгерістер: дәнекерлеудің термиялық циклдерінің металлургиялық салдары

3.2.1 Жылыту кезіндегі ТӘА түрлендіруі

Термиялық дәнекерлеу циклдарының лездігі қатаң түрде балқыту сызығына жақын әртүрлі фазалардың шынайы сипатын болжау мақсатында жылу теңгерімдік сұлбалары пайдалануға мүмкіндік бермейді. Алайда, Истерлинг үлгісі [EAS 83] арқылы сұлбалардың мұндай түрі-микроқұрылымдық өзгерістерді сапалы түсіндіру үшін қолайлы бастапқы нүкте болып табылады. Мысалы, дәнекерлеу операцияларында кеңінен қолданылатын конструкциялық болаттар дәнекерлеу қосылыстарында қол жеткізілетін ең жоғары температуралар мен параллель сұлбаны (Fe-C) зерттеу жолымен қарастырылатын болады (3.9-суретті қараңыз).



Сурет 3.9. Дәнекерленген қосылыстың әртүрлі құрамдас бөліктерінің бейнесі; [EAS 83-тен]

Мысалы, болаттың 0,15% дәнекерлеу жағдайын қарастырайық. Балқытылған аймаққа жақындағанда келесі аймақтық құбылыстарды анықтауға болады.

Қыздыру кезінде негізгі металл айналу фазасынан өтпеді, яғни ол A_1 (727°C) айналу нүктесінен төмен температураға дейін қыздырылды. Осылайша, бұл феррит (темірдегі көміртекті ендірудің қатты ерітіндісі, орталықтанған текше құрылым) және темірдің Fe_3C карбидтерінен (немесе цементиттен) немесе, дәлірек айтқанда, перлиттен, ферритпен цементиттің пластиналы агрегатынан тұратын микроқұрылым.

Шектен кем аймақта фазалы қығысу әлі орыналған жоқ. Алайда, жоғары температураға қол жеткізгенде (мысалы, $\theta > 600^\circ\text{C}$), кейбір құбылыстар орыналуы мүмкін, мысалы, жұмсарту, цементитті пластиналардың сфероидтауы, деформациялық-берік бұйымдарды дәнекерлеу жағдайында қайта кристалдау, тозу және т. б. [GRA 95].

Сондай-ақ A_1 мен A_3 арасындағы (қарастырылатын композиция үшін 830°C) ішінара айналу аймағы бар. Бұл салада феррит жақында пайда болған фаза яғни аустенитпен γ , қырлы текшелік құрылымы бар қатты инсерциялық ерітіндімен бірге қолданылады. Осы аймақтан ($\theta > A_1$) термиялық әсер ету аймағы басталады.

Шамамен 1495°C дейін температурасынан A_3 аустенитке толық айналады. Осылайша, жаңа құрылым бұрынғы феррит құрылымының кез келген белгілерін ауыстырады және жояды. Дәл осы аймақта аустенитті түйіршіктер ұлғаяды: ол A_3 -тен сәл асатын температураларда өте аз өлшемге ие және ең жоғары температураларда бірнеше жүздеген микронға жетуі мүмкін. Бұл жағдайда ірі түйіршікті аймақ термині қолданылады (мысалы, аустениттік дәндердің өлшемі бірнеше ондаған микроннан асып кеткен кезде) және көрініп тұрғандай дәл осы аймақ белгілі бір металлургиялық мәселелердің ең ықтимал себебі болып табылады.

Қатты феррит (δ) және сұйық фазасынан тұратын ішінара сұйық жағдайдағы басқа аймақ бар. Мұндай өлшемі өте аз (және, демек, қиын бақыланатын микрографиялық) аймақ негізгі металлмен балқытылған металл арасындағы байланыс болып табылады. Баланстық сұлбада бұл балқытудың басы мен соңы арасындағы температуралық аралыққа сәйкес келеді (солидус-ликвидус саралығы).

Бұл байланысу аймағында белгілі бір құбылыстар орындалуы мүмкін (сұйықты ерітілген затта байыту жолымен жергілікті көміртектің жетудің, қоспалар жағдайында төмен балқу температурасында эвтетикалық түзілімдер жолымен түйіршік аралық ликвация

жәнет.б. [GRA 95, HAL 84]).

Нәтижесінде, балқытылған металдың негізгі металл құрамынан, белгілі бір элементтердің ұшып кетуінен, қоршаған ортамен реакциялардан немесе сыртқы элементтермен (толтырғыш материалы мен) байытудан ерекшеленетін құрамына ие болады. Балқытылған металдың алғашқы ядросы ТӨА түйіршіктерде эпитакия (кристаллографиялық когеренттілік) арқылы қатады.

Осы сатыда келесі сәттерді атап өту қажет:

- жоғарыда келтірілген түрлендірулер мен температуралық диапазондар тепе-теңдік жағдайына сәйкес келеді. Шын мәнінде термиялық циклдардың қысқа болуы фазалық түрленулермен құрылымдық біртектілік кейде осы теңдестірілген температураданедеуірасыптүсетінтемпературалардаинтервенцияланады.

- Мұнда қарастырылған нақты мысал (Fe-0,15% C қорытпасы) фазалық жылжулар қыздыру кезінде орын алатын жағдайды білдіреді. Басқа материалдар жағдайында (мысалы, алюминий қорытпалары, мыс, ферритті тот баспайтын болат және т.б.) дәнекерлеудің термиялық циклі бір фазалы аймақта араластырылады. Содан кейін бүкіл цикл бойынша үйіршіктердің ұлғаюын фазалық қозғалыстармен ұсақтамай анықтауға болады;

- [3.5] немесе [3.6] өрнектеріне және фазалық түрлену температураларына сәйкес әртүрлі дәнекерлеу жағдайында ТӨА енін болжауға болады. Дәнекерленген қосылыстарды бақылау мен расталған есептер, ені бірнеше жүздеген микроннан (мысалы: лазерлік дәнекерлеу [ION 97] және кедергі арқылы түйіспелі дәнекерлеу кезіндегі 15 мм дейін қуаттың төмен тығыздығынант ұратын [CHA 74]) электршлакты дәнекерлеу кезінде [DEB 82, HAR 8 0] орындалады.

Аталған микроқұрылымдық өзгерістерге қосымша дәнекерлеу операциялары негізгі металда болатын тұнбаларға елеулі әсер етеді. Шын мәнінде, қазіргі заманғы болаттар өзінің механикалық қасиеттерін (кедергі, шөміш, тұтқырлығы) микроқұрылымның сипатын, түйіршіктермен тұнбаның ұсақталуын ескере отырып, беріктендірудің оңтайландырылған комбинациясына ие болады. Бұл тепе-теңдік дәнекерлеудің термиялық циклдарымен айтарлықтай өзгереді.

Көбінесе әртүрлі бөлшектердің (карбидтердің, нитридтердің, сульфидтердің, оксидтердің) ерігіштік туындысының өзгеруінен бастап, осы нысанда сипатталған температураға (сұйылтылған ерітінділер жағдайы) байланысты мөлшерді анықтауға болады [RIS 74]:

$M_aN_b \Leftrightarrow aM + bN$, мұнда a және b бастапқы қосылыстардың стехиометриясын анықтайды:

$$\log [\% M]^a [\% N]^b = - \frac{\Delta G_0}{RT} = A - \frac{B}{T}$$

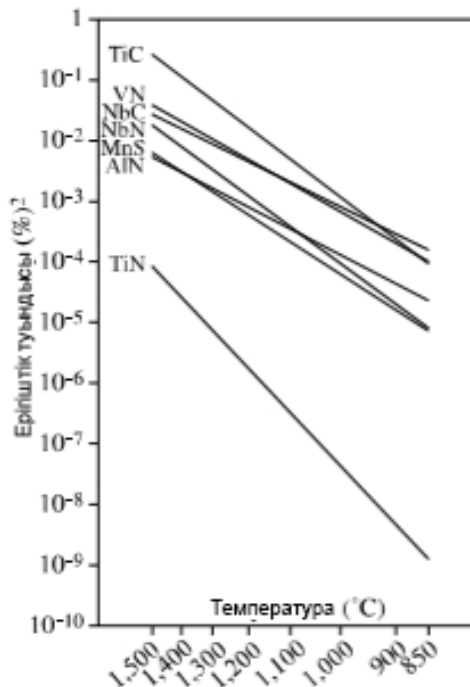
ΔG_0 реакцияның еркін энергиясын білдіреді, T -абсолюттік температура, R -жетілдірілген газдар тұрақтысы (1,987 кал. K^{-1} моль $^{-1}$). 3.3-кестеде және 3.10-суретте кейбір қосылыстардың ерігіштік туындысы көрсетілген, бұл жағдайда толығымен еритін температураны есептеуге болады.

Кесте 3.3. Аустениттегі әр түрлі қосылыстардың ерігіштік туындысын ұсыну; салмағы бойынша % концентрациясы, T - ° K

Тұнбаның түрі	$A - B/T$
NbN	4.04 – 10230/T
VN	3.02 – 7840/T
AlN	1.79 – 7184/T
TiN	4.35 – 14890/T
TiC	5.33 – 10475/T
NbC	2.26 – 6770/T
MnS	2.93 – 9020/T
Al ₂ O ₃	20.43 – 125986/T
SiO ₂	5.10 – 44801/T
MnO	-5.71 – 24262/T
Ti ₂ O ₃	16.18 – 104180/T

ТӘА-да жергілікті қол жеткізілетін температура жоғары болған сайын, тұнбаның ыдырау ықтималдығы соғұрлым жоғары болады. Бұл қосылыстардың кему реті бойынша тұрақтылығы мынадай: оксидтер, нитридтер, сульфидтер, карбидтер.

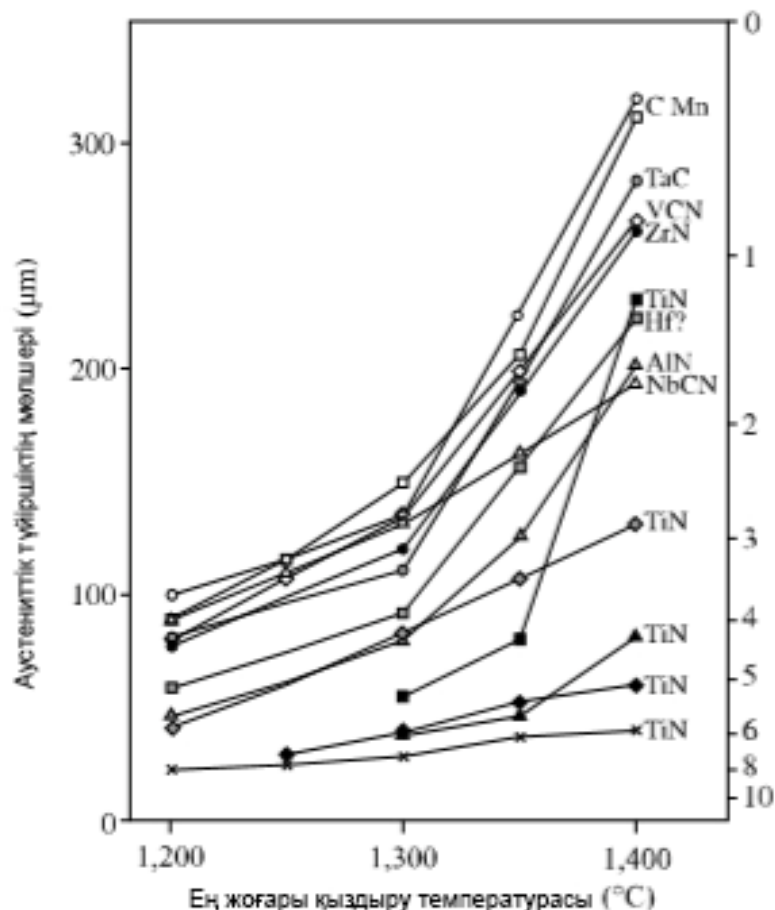
Конструкциялық болаттардың қарапайым құрамдары үшін ТӘА карбидтердің ыдырауы 1100-1150°C (VC, TiC) [HRI 95], нитридтердің 1150-1300°C температурада байқалатын болады, ал сульфидтер көбінесе 1100-1200°C температурада диссоцияланады. (Мысалы: бірнеше оннан бірнеше микронға дейін), бұл оксидтер, әдетте, ТӘА-да қыздыру фазасы кезінде рөл ойнайды. Бірақ бұл шарт нитрид немесе карбонитрид үшін орындалмайды. Шынында бұл көптеген ұсақ және дисперсияланған бөлшектер аустениттік түйіршіктің ұлғаюын баяулататыны белгілі, өйткені түйісудің жылжуы жергілікті энтальпияның ұлғаюымен бірге жүреді.



Сурет 3.10. Аустениттегі әртүрлі қосылыстардың ерігіштік туындылары

$d_{\max}$ дәндерінің ең үлкен мөлшері, R мөлшері және VF көлемдік үлесі бар тұнба популяциясының қатысуымен Зенерара қатынасымен есептеледі [ZEN 48]:
$$d_{\max} = \frac{4r}{3V_f}$$

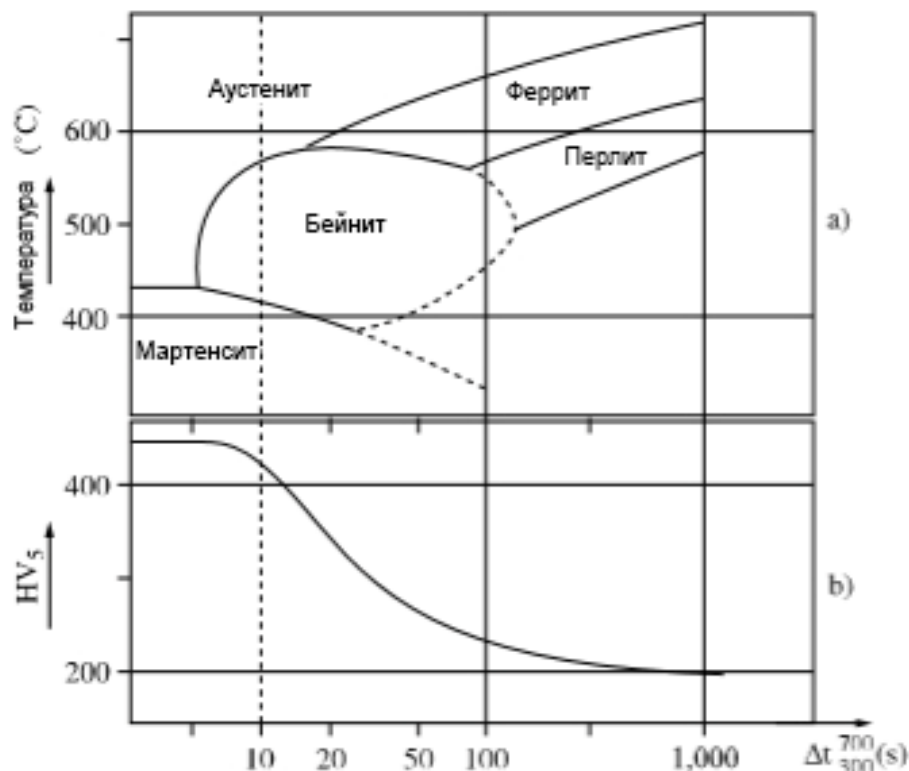
Қағида бойынша ТӘА аустениттік түйіршіктердің ұлғайған мөлшері ірі түйіршікті ферриттік құрылымға әкеп соқтырады. Бұл құбылысты шектеу үшін титанның аздаған қоспалары (жоғарыда аталғандай, жоғары температурада өте тұрақты нитридтерді құрайтын элемент), аустениттік түйіршіктің ұлғаюын тиімді бәсеңдететінін көрсетуге болады (3.11-сурет). Алайда, егер нитридтер салыстырмалы ұсақ (бірнеше ондаған нанометр) болса, яғни ең алдымен, олар ірі тұнбат үрінде емес, болатты балқыту кезінде қатаюдан кейін пайда болса, нәтижеге (балқытылған металда пайда болатын микрометриялық бөлшектер) ғана қол жеткізуге болады



Сурет 3.11. Тұнбаның әртүрлі типтерінен тұратын болаттың ТЭА аустениттік түйіршіктерінің өлшеміне шекті температураның әсері [Кан 76]

3.2.2 Суыту кезіндегі ТЭА-ге түрлендіру

Конструкциялық болат жағдайында дәнекерленген қосылыстардың ТЭА-да байқалатын микроқұрылымдар аустениттің түрлендірілген өнімдеріне сәйкес келеді. Дәстүрлі термокинетикалық диаграммалардан (үздіксіз суыту кезіндегі айналу) бастап осы металлургиялық түрленулерді зерттеу қиынға түседі. Бұл диаграммалар көбінесе аустениттік өңдеуден бастап салыстырмалы төмен температурада (900-950 °C) және ұзақ уақыт бойы, яғни ТЭА-да кездесетін жағдайға мүлдем қарама-қарсы шарттарда орнатылады. Осыған тән жағдайларды қарастыру үшін термиялық қыздыру және салқындату циклдерінен басталатын металлургиялық құбылыстар зерттеледі. Бұл сынаулар көбінесе арнайы термиялық тренажерларда (Глибл және Смитвельд симуляторлары және т.б.) жүргізіледі. Осы материалға (3.12-суретті қараңыз) және аустенизация шарттарына сәйкес (көбінесе температура 1200°C жоғары, ірі түйіршікті дөңдермен ТЭА ұқсастыру үшін), дәнекерлеу немесе қарапайым жағдайда термокинетикалық диаграммаларды пайдалана отырып, салқындату жылдамдығы бойынша аустениттің түрленуі туралы, температурамен соңғы микроқұрылымның беріктігінің эволюциясы туралы тұжырымдама жасауға болады.



Сурет 3.12. (а) Дәнекерлеу жағдайында термо кинетикалық диаграмма үлгісі ($\theta_M = 1,300^\circ\text{C}$); (b) сәйкес график (қаттылық-салқындату өлшемі Δt).
Болат $C = 0.18\%$, $Mn = 1.4\%$, $Si = 0.4\%$

Салқындату жылдамдығына байланысты микроқұрылымдардың әркелкі түрлері пайда болуы мүмкін.

Өте жоғары жылдамдыққа қатысты (қаттылық критерийі бойынша салқындату графигіне сәйкес келетін V_{CM} суарудың сыни жылдамдығынан төмен немесе $HV\text{-}\Delta t$) мартенсит пайда болады. Тетрагональды кристаллографиялық құрылымға ие бола отырып, бұл темірдегі көміртектің аса қаныққан қатты ерітіндісі атомдық диффузиясыз жылжу тетігі арқылы түзіледі. Құрамы бойынша аналық аустенитке ұқсас мартенсит HV_M қаттылығынан тұрады, ол тек болаттағы көміртектің пайыздық құрамына байланысты мына өрнекке сәйкес анықталады: $HVM=283+930(\% C) [IRS 77]^2$.

Аралық жылдамдықтарда бейнитті құрылымдар пайда болады. көміртегі Түйіршіктердің шекарасында диффузиялануы үшін тым төмен температурада метатұрақты аустениттен түзілетін бейнит феррит инелерінің өте жылдам өсуімен карбидтерді жылжыту және тұндыру жолымен сипатталады. Мысалы, [BNA 97, HEN 72, HON 95, OHM 74]) бейнитті құрылымдарды сипаттауға қатысты күрделі талқылауларды қарастырмай, тек салқындаудың жоғары жылдамдығы неғұрлым қатты төмен бейнитті құрылымдардың пайда болуына әкеп соқтыратынын еске саламыз. (карбидтердің феррит планкаларының ішіндегі жұқа пластиналар түрінде шөгуі), ал баяу жылдамдығы бейниттің жоғары пайда болуымен байланысты (карбидтер феррит планкаларының қосылыстарынан, кейде квази үздіксіз цементитті пластиналардың түрінде шығарылады [CON 92]). Бұл соңғы жағдайда жергілікті көміртегі құрамы планкалардың арасындағы қосылыстардың пайда болуы мартенсит пен аустенит (М-А қосылыстары) бар жерде орын алуы мүмкін және оның соңғысы тұрақтанады, өйткені M_s түрлену температурасы бөлме температурасынан төмен төмендейді [AND 65].

Осыған ұқсас басқа есептеулер ұсынылды: $HV_M = 293+812(\%C)$ (Сато), $305+802(\%C)$ (Дюрэн) немесе $HV_M = 294+884[\%C(1-0.3 (\%C))^2]$ (Юриока) және т.б..

Дәнекерлеу кезінде салқындатудың баяу жылдамдығы ескі аустенитті дэндер шекарасындағы проэвтектоидты ферриттің шөгуіне және ферритті-перлитті құрылымға эволюцияға сәйкес келеді. Сондай-ақ, салқындату жылдамдығының осы диапазонында қыздыру фазасы кезінде ерітілген кейбір қосылыстар (ванадий және ниобий және т.б. нитридтері немесе карбонитридтері) қайта толық немесе одан аз нысанда шөгуі мүмкін.

Олардың құрамы мен салқындату жылдамдығына байланысты ірі түйіршікті ТӨА С-Мn болаттардағы HV_{max} қаттылығының өзгеруін сипаттау үшін әр түрлі күрделі формулалар ұсынылды. Мысалы, Біз 0.3% С, 5% Ni, 1% Cr

(Δt_{500}^{800} секундпен көрсетілген, в құрамы %):

$$HV_{max} = 206 + 442 C + (402 CE_I - 90 CE_{II} + 80) \arctan(x) + 99 CE_{II}$$

Мұнда:

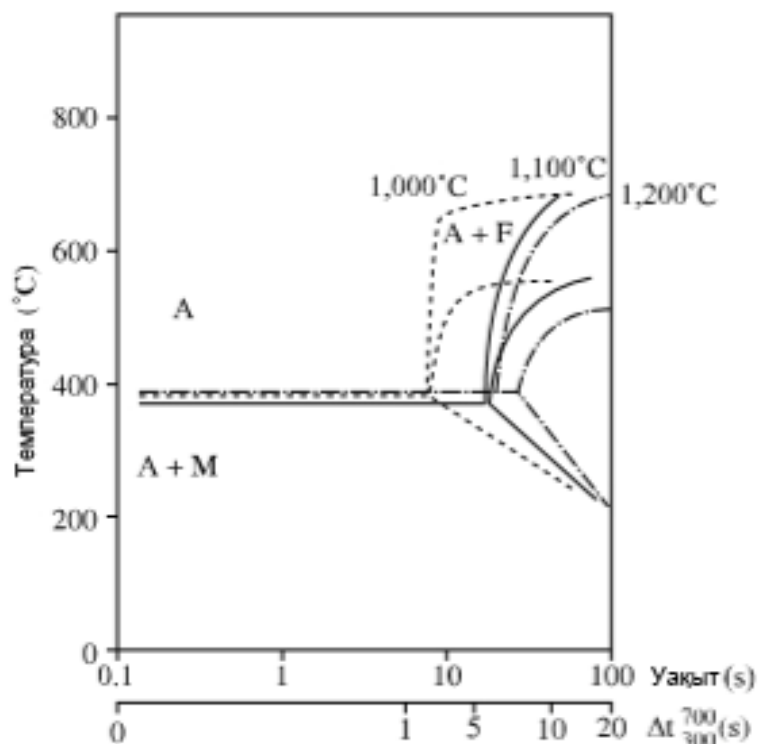
$$CE_I = C + \frac{Mo}{4} + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{8} + \frac{Ni}{12} + \frac{Cu}{15} + \frac{Si}{24}$$

$$CE_{II} = C + \frac{Mo}{2.5} + \frac{Nb}{3} + \frac{Mn + Cr + V}{5} + \frac{Cu}{10} + \frac{Ni}{18} + \frac{Si}{24}$$

$$x = \frac{\Delta t_{500}^{800} - 2.3CE_I - 1.35CE_{III} + 0.882}{1.15CE_I - 0.673CE_{III} - 0.601}$$

$$CE_{III} = C + \frac{Mn}{3.6} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{9} + \frac{Cu}{20}$$

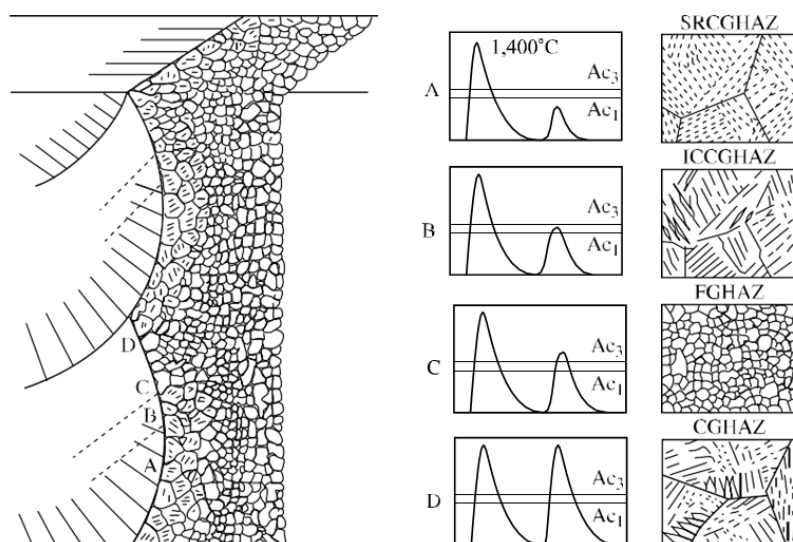
Бұл есептеулер көміртекті эквиваленттің тұжырымдамасын (УЭ, С, М, Мо деңгейі бойынша функция және т.б.) айқындайды, ол суық жарылуына байланысты одан әрі талқыланатын болады. Бұл кезеңде шыңдау қабілетін анықтайтын фактор екенін бекіту керек. Берілген салқындату жылдамдығы кезіндегі шекті қаттылық көміртекті эквиваленттің пайыздық құрамының шектелуіне әкеледі. Жоғарыда атап өтілгендей, кез келген ТӨА нүктесінде пайда болатын микроқұрылым жергілікті қол жеткізілген температураға байланысты. 3.13-сурет 32С1 болаттағы аустениттің түрлену температурасының әсерін бейнелейді. Егер салқындату жылдам болса (мысалы, $\Delta t_{300}^{700} < 1$ сек), температура 1000°C асатын барлық аймақтар мартенситті болады. Одан да баяу суыту жағдайында (мысалы $\Delta t_{300}^{700} \cong 5$ сек) шамамен 1000°C температураға дейін қыздырылған ТӨА бөлігі бейнитті құрылымнан тұрады, ал ірі түйіршікті бөлігі (1100-ден 1200°C дейін) мартенситті құрайды. Бұл ең алдымен микроқұрылымдық айырмашылық неліктен металлургиялық мәселелердің көпшілігінің (тұтқырлығы, сутегінің қатысуымен жарылу сезімталдығы) жоғары температураға дейін қыздырылған ірі түйіршікті бөлігінде пайда болатынын түсіндіреді.



Сурет 3.13. 0,3% C, 0,8% Mn, 0,2% Si, 0,3% Cr болатты дәнекерлеу кезіндегі термокинетикалық диаграммаға ТЖА шекті температураның әсері

3.2.3 Көп өтпелі дәнекерлеу үлгісі

Белгілі бір қалыңдықтан асқан кезде бұйымды құрастыру әдетте бірнеше тізбекті балқытуды қамтиды (бірнеше өтпелерден тұратын дәнекерлеу немесе көп өтпелі). Соңғы балқытудан басқа, осы операция кезінде ТЖА барлық нүктелері қайта қыздыру циклдерінің күрделі кезектілігіне ұшырайды [DEV 87]. Егер нүкте ТЖА-да берілген N өтпе жолына тікелей жақын болса, балқытудың прогрессивті қашықтығы N+2 өтуден кейін олардың металлургиялық әсері тез елеусіз (шекте температура 500°C төмен) болатынын білдіреді. Сонымен қатар, аустенизация өте жоғары температурада алдыңғы циклдардың металлургиялық әсерін неғұрлым төмен температурада жойатыны түсінікті болады; демек, көп өтпелі ТЖА-да металлургиялық тиімді жылу тарихы үш термиялық шыңдардан аспайтын кейбір сәйкес комбинациялармен біріктірілуі мүмкін. Осылайша, келесі үш аймақты бөлуге болады (3.14-сурет)



Сурет 3.14. Көп өтпелі дәнекерлеуде кездесетін термиялық циклдар мен микроқұрылымдардың сұлбалық бейнесі; [MAT 94]

Ірі түйіршіктерден тұратын аймақ келесі өту жолдарына әсер етпейді, өйткені ол A_{c1} -ден төмен температураға дейін қызады (суретте А аймағы, немесе SRCGHAZ: термиялық әсер арқылы ірілендірілген бөлшектердің субкритикалық қайта қыздырылған аймағы). Жалпы алғанда, бұл аймақтың микроқұрылымдары мен механикалық қасиеттері қара күйдегі ірі түйіршікті аймақ үшін ұқсас (CGHAZ, D аймағы).

A_{c1} және A_{c3} арасындағы сыни аралық өрісте қыздырылған ірі түйіршікті аймақ (ICCGHAZ: термиялық әсермен ірілендірілген бөлшектердің сыни аралық қайта қыздырылған аймағы, В аймағы). Аустенитті түйіршіктердің бұрынғы шекаралары, көміртекке бай аймақтар (карбидтер, М-А қосылыстары) немесе сегрегацияланған аймақтар сияқты жеңіл диффузия аймақтарында болады. Жергілікті түзілетін аустенит температура төмен болған сайын көміртекпен байытылады. Суыту кезінде аустениттік аумақтар алдыңғы бөлімде сипатталған механизмге сәйкес мартенситке немесе аустенитке (М-А қосылыстары) айналуы мүмкін.

Көптеген зерттеулер тұтқырлық [IKA 80, LAM 99, MAT 94] тұрғысынан осы қосылыстардың төмен сапасын анықтағандықтан, көбінесе, ірі түйіршікті аймақта қыздырылған аймақ көп өтпелі дәнекерленген қосылыстарда ең аз тұтқырлық аймағы болып саналады. Алайда, бұл аймақтың сынғыштығы келесі дәнекерлеу өтетін жолды балқытумен немесе кернеуді алу үшін термиялық өңдеумен байланысты босатудың жеткілікті температурасына дейін (мысалы, 350-400°C) қайта қыздыру кезінде іс жүзінде жоғалады.

Конструкциялық болаттар көп өтпелі дәнекерленген қосылыстардағы тұтқырлық кепілдігін қамтамасыз еткен кезде өнеркәсіпшілер мен болат өндірушілер балқытылған металдың жанында дәнекерлеу шарттарын және химиялық құрамын бақылау жолымен жергілікті нәзік аймақтардың (LBZ, ірі түйіршікті немесе сындарлы аймақтар [HRI 95, TOY 86]) үлесін азайтуға ұмтылады.

Нәтижесінде, A_{c3} -тен сәл асатын температура шегіне байланысты ұсақ түйіршіктерден тұратын (FGHAZ, термиялық әсер ету аймағы) аймақ бар. Осы өңдеу түріне байланысты өте жұқа микроқұрылымдар қалыпты өңдеу нәтижесінде алынған құрылымдарға сәйкес келеді және өте жақсы механикалық қасиеттерге ие. Осы аймақты шағын түйіршіктермен ұлғайту және М-А қосылыстарының айналуына ықпал ету үшін дәнекерлеу шарттарын саналы түрде таңдау көп өтпелі қосылыстардың тұтқырлығының жақсы қасиеттеріне кепілдік береді [IKE 95, KAWnd, KOS 81, LIN 89].

Қорытындысында атап өту керек, термиялық және металлургиялық модельдеуге негізделген белгілі бір бағдарламалық қамтамасыз ету, көп өтпелі ТӨА-да нәзік аймақтардың пайда болу қаупін және олардың механикалық қасиеттерге әсерін болжау үшін әзірленді [DEV 91, KAP 98, REE 94].

3.2.4 Суық жарылу

Дәнекерлеу ұғымын көбінесе суық жарылу сезімталдығымен шатастырады және осы ұғымға сәйкестендіреді, бұл құбылыстың маңыздылығы туралы біраз түсінік береді.

Доғалық дәнекерлеу кезінде балқытылған металл бар судың (қоршаған ауа, ылғал және т.б.) немесе гидрогенизацияланған заттың (майлау және т. б.) ыдырауы нәтижесінде алынған сутекті, сондай-ақ, дәнекерлеу газының сутегін ерітуі мүмкін; еріген мөлшері жоғары болуы мүмкін. Граньон [GRA 95] арқылы көрсетілгендей, нәтижелер конструкциялық болатты дәнекерлеу кезінде 100 г балқытылған металда болатын диффузиялаушы сутегі мөлшері орта есеппен келесі көрсеткішке жетеді:

- Рутил жабыны бар электродтармен дәнекерлеу кезінде 15 см³,
- 9 см³ ұнтақты флюспен дәнекерлеуде,
- 7 см³ базалық жабыны бар электродтармен дәнекерлеу кезінде,
- 4 см³ инертті газда балқитын электродпен дәнекерлеуде.

Қату, салқындату және кез келген ықтимал аллотропиялық айналу кезінде сутегінің ерігіштігі айтарлықтай төмендейді. Бұл факт қатаю кезінде кеуектілік түзілуіне әсер етуі мүмкін және нәтижесінде атмосфераға газдың диффузиясын тудырады және бұл жеткіліксіз болса (тез салқындату), сондай-ақ *in situ* H₂ молекуласының пайда болуымен қатты металдың артық қанығуын тудырады. Осындай әдіспен алынған газ металл мен қосылыстардың арасындағы құрылымдық ақаулар мен декогезиялардан туындаған кеңістіктерде жиналады. Бұл жерлерде газ қысымы сутегінің диффузиясымен жоғарылайды және жоғары деңгейге жетуі мүмкін, бұл шөгінді кернеулермен үйлесетін едәуір жергілікті кернеуді тудырады. Егер металдың құрылымдық жағдайы әлсіз болса, сызат туындауы мүмкін.

Мұндай нақты локализация конструкциялық болаттарды дәнекерлеу кезінде кездеседі, олар түрлендіруге ұшырауы мүмкін ($\gamma \rightleftharpoons \alpha$); бұл суық жаруға әкеледі.

Қосылыста:

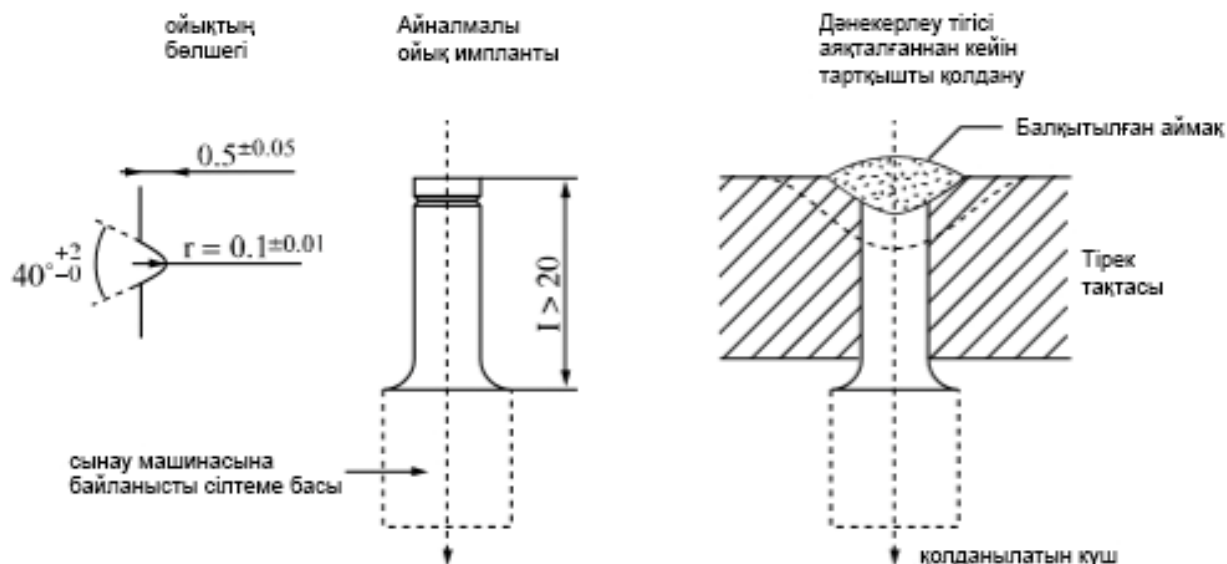
- балқытылған металға айналдыру (ол көбінесе нақтылыққа сәйкес келетін

($\gamma \rightleftharpoons \alpha$) түрленуге бейім кезде орындалады) ТЭА-ға түрленгенге дейін басталады, өйткені ол соңғы шарттарғыдай салқындатылса, онда көміртегі азырақ, ал Mn нүктесі жоғары болады. Осылайша, құрамында кез келген сутегі ішінара атмосфераға және ішінара ТЭА-ға бөлінеді (соңғысы аустениттік күйде болған жағдайда).

- аустенит түйіршіктерінің ұлғаюынан туындаған жылу градиенттерінің және қызулану айырмашылықтарының әсерінен ТЭА-ға айналдыру ең суық бөліктерден (негізгі металға жақын) балқытылған металдың шегіне дейін жүреді.

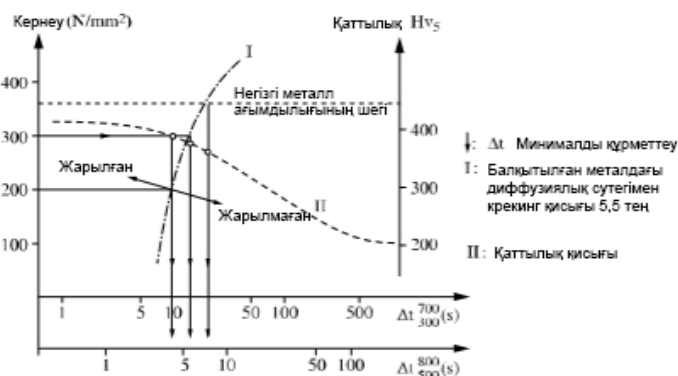
Демек, сутегі ТЭА ең қызған бөлігінде ұсталады, ал оның ерігіштігі суыту нәтижесінде және әсіресе α -күйге ауысқан кезде азаяды. Егер бұл бөлік мартенситке айналса (өте пластикалық емес, тіпті нәзік), ол сутегі мен шөгінді кернеулердің жергілікті қысымынан туындаған кернеулердің әсерінен жарылуы мүмкін. Осылайша, суық шаю үдерісі орын алады.

Суық шаю қаупін бағалау үшін қарастырылып отырған дәнекерлеу жағдайларында шаюға сынау жүргізу қажет. Егер термиялық циклдерді жаңғырту және сутегі жүктеу салыстырмалы жеңіл есептер болса (дәнекерлеудің бірдей шарттарын қолдану жеткілікті), онда екінші жағынан шөгудің кернеу схемасы қайта жасау өте қиын. Бұл үшін әдеттегі тесттер қолданылады. Ең көп таралған және ең маңыздысы NF a 89-100 және NF a 03-185 Француз стандарттарымен және IIS/IIW-447-73 ұсынылатын процедурамен анықталған имплантатқа арналған тест болып табылады. Қалың пластинаға ойығы бар цилиндрлік үлгі имплантацияланады. Таңдалған жағдайларда тестілік дәнекерлеу жүргізіледі, содан кейін балқытылған металл қатайған кезде имплантат созылуға ұшырайды (3.15-суретті қараңыз).



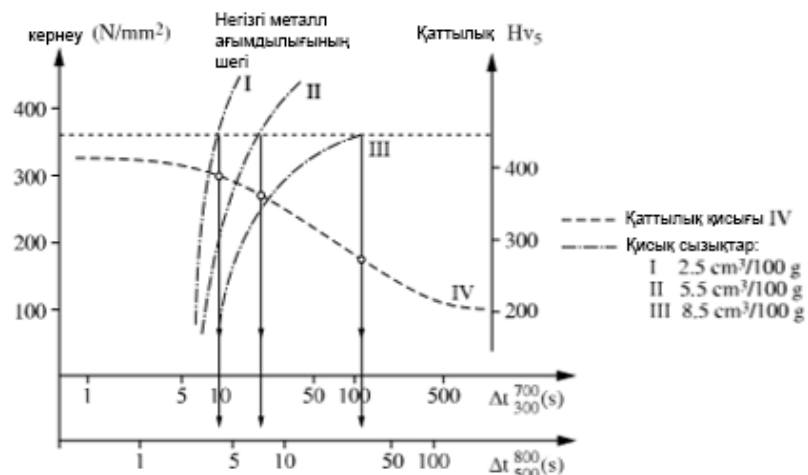
Сурет 3.15. а) Дөңгелек сызаттан тұратын имплантант мысалы;
б) имплантант дәнекерлеу жігін жаққаннан кейін созылуға ұшырайды

Салқындату мен күту уақытынан кейін алынған микрографиялық кесіктер ықтимал жарықтарды анықтауға мүмкіндік береді. Бір мезгілде дәнекерлеу жағдайларымен (қуат және тірек пластинасының қалыңдығы) және имплантантқа қоса берілген жүктемемен өзгере отырып, біз координаттар шегінде - үзілу беріктігін/салқындату параметрін, жарылу жүргізілетін өрісті және оны қай жерде болдырмауға болатынын анықтайтын жарылу қисығын құру үшін қажетті ақпаратты аламыз (3.16-сурет). Мұндай қисық болатқа, дәнекерлеу үдерісіне және сутегі құрамына байланысты. Бұл процедура көптеген болаттардың металлургиялық дәнекерлеуін суық жарылу қаупі тұрғысынан саралауға және дәнекерлеу кезінде қауіпсіз пайдалануға болатын ең аз энергияны анықтауға мүмкіндік берді. Алайда, 3.17-суретте көрсетілгендей, сутегі құрамының әсері бірінші дәрежелі екенін атап өту керек; көбінесе суық жарылу C-Mn қарапайым болатқа қатысты жоғалуы үшін оны азайту жеткілікті. Демек, осы факторды дәнекерлеуші басым деп санауға тиіс.



Сурет 3.16. Имплантант қақатысты тесттен алынған жарылу қисығының мысалы

Егер сутегі құрамының төмендеуі мүмкін емес немесе жеткіліксіз болса, дәнекерлеуші алдын ала мұқият қыздыру және кейіннен қыздыру жолымен жарылуын алдын ала ескертуі мүмкін. Бұл екі операция (біз термиялық өңдеу ретінде қарастырмауымыз керек) бөлмелік температураға қарағанда (алдын ала қыздыру) жоғары температурада құрастыруды құрайтын бөлшектерді қыздыру арқылы дәнекерленген тігістің термиялық эволюциясын өзгертуден тұрады және белгілі бір уақыт ішінде (пост-қыздыру) дәнекерлеуден кейін осы қыздыру деңгейін ұстап тұру арқылы орындалуы мүмкін.



Сурет 3.17. Сутегі құрамының суық жарылуға әсері

Бұл процедуралар:

- дәнекерленген жіктің салқындатылуын баяулатады және салқындатқыш ортамен - бөлме температурасында болмайтын негізгі металмен, алдын ала қыздыру температурасында қолданылады. Егер негізгі металл қатты қатаймаса, бұл баяулау түрленуді өзгертеді, бейниттің белгілі бір бөлігін мартенситті түрленуге дейін түзуге мүмкіндік береді; бұл жағдайда ТӨА металл аз шындалған және қаттылығы аз, көбінесе морт болып келеді. Сонымен бірге алдын ала қыздыру температурасын келесі қыздыру температурасы арқылы басталған нәтижелі салқындату өте баяу жүреді, өйткені ол алдын ала қыздырылған және кейіннен қыздырылатын аймаққа сәйкес келеді. Осылайша, мартенситті айнарудың соңы сутегі санының қатысуымен өте баяу жүреді, ол біртіндеп азаяды, өйткені ол қосылыстан тыс атмосфераға диффузияланады. Кезекті қыздырудың салыстырмалы үлкен ұзақтығы, сондай-ақ соңғы және қоршаған орта температурасы арасында қалыптасқан мартенсит ұшырайтын және оның морттығын одан әрі төмендететін жұмсарту операциясы болып табылады;

- ТӨА тереңдігін арттырады және температура градиенттерін азайтады. Осылайша, кеңейту градиенттері мен шөгудің мүмкіндігі азаяды, сәйкесінше кернеу де айтарлықтай төмендейді.

Бұл әсерлердің барлығы бірдей оң нәтиже алады; олар суық жарылу қаупін азайтады немесе жояды.

Суық жарылу қаупін априорлық бағалау үшін практикалық деңгейде бастапқы металдың химиялық құрамы бойынша есептелетін *көміртегі эквиваленті* (C_{eq}) деп аталатын белгілі бір параметр үнемі қолданылады. Көптеген формулалар ұсынылды, олардың ішінде ең танымал 1940 жылдан бастап Халықаралық дәнекерлеу институты арқылы қолданылады [DEA 40]:

$$C_{eq} (\%) = C\% + Mn\%/6 + (Cr\% + Mo\% + V\%)/5 + (Cu\% + Ni\%)/15$$

Тұрақты C_{eq} кезінде металлургиялық дәнекерлеу тұрақты болады және C_{eq} төмен болса, болса, суық жарылу қаупі соғұрлым төмен болады. Бұл қауіпті бағалаудың аталған әдісі қанағаттанарлық дәрежеде емес, шын мәнінде:

- маңыздылығы жоғарыда талқыланған C_{eq} балқытылған металдағы сутегі құрамын ескермейді (осы толық тексерілмеген шартты жоятын белгілі бір формулалар ұсынылды);

- C_{eq} пайда болатын мартенсит үлесіне қатысты анықтаушы фактор болып табылатын салқындату шарттарын ескермейді;

- C_{eq} , өкінішке орай, көміртегінің пайыздық құрамына байланысты беріктендіру қабілетін жаңылдырады (демек, мартенситтің сыну қаупі),

Және екіншіден, шынығу (демек, мартенситтің пайда болу қаупі), ол легірлеуші элементтердің құрамына байланысты.

Сондықтан C_{eq} өте шектеулі салаларда салыстыру үшін ғана пайдалануға болады.

Қазіргі уақытта NF EN кейбір стандарттары осы C_{eq} үшін шекті мәндерді анықтайды.

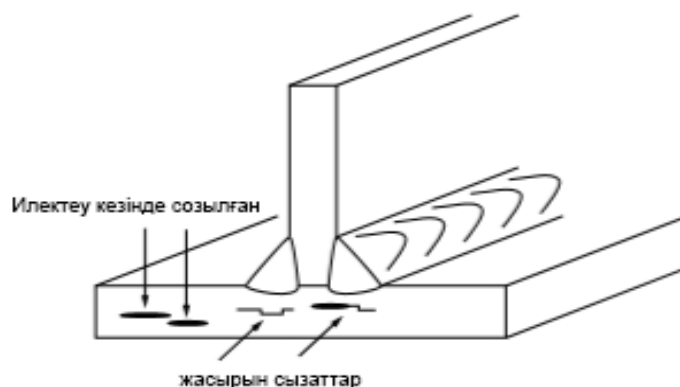
Мысал ретінде және дәнекерлеудің қол жеткізілген жақсартуларын атап өту мақсатында шойын мен болат өндіру үдерістеріндегі жетістіктердің көмегімен NF EN 10113 стандартына сәйкес келетін және қалыпталған күйде немесе қалыңдығы 16-дан 40 мм-ге дейінгі жазық бұйымдар нысанында термомеханикалық өңдеуден кейін қойылған болаттар үшін ең жоғары кепілді мәнді келтіруге болады.

Нәтижесінде, соңғы бірнеше онжылдықтар ішінде темір мен болаттан жасалған көптеген бұйымдарды әзірлеу негізінен суық жарылу сезгіштігін төмендетуге ұмтылды. Демек, металлургиялық дәнекерлеу тұжырымдамасы конструкциялық болат құрамының эволюциясында шешуші рөл атқарды.

NFEN 10113 сәйкес (16 <қалыңдығыммд40)Болаттың шекті C_{eq} (%)			
2 бөлім Қалпына келтіргеннен кейін		3 бөлім Термомеханикалық өңдеуден кейін	
S275N	$C_{eq} \leq 0.40\%$	S275M	$C_{eq} \leq 0.34\%$
S355N	$C_{eq} \leq 0.43\%$	S355M	$C_{eq} \leq 0.39\%$
S420N	$C_{eq} \leq 0.48\%$	S420M	$C_{eq} \leq 0.43\%$

3.2.5 Қабатталу (қатпарлану)

Дәнекерлеу кернеу мен елеулі деформацияның пайда болуына әкеп соқтырғаны атап өтіледі. Бұл құбылыстың ықтимал салдары болат қаңылтырларының ыдырауы болып табылады, ол дәнекерленген қосылыстардың қосылу аймағына параллель дамидын және жазық илек дәніне перпендикуляр болатын жарықтың белгілі бір түріне сәйкес келеді (3.18-сурет). Оның пайда болуы илектеу бағыты бойынша орналасқан қосулардың болуымен туындаған оның қалыңдығы бағытында дәнекерленетін материалдың жеткіліксіз иілгіштігіне сәйкес келеді.



Сурет 3.18. Қабатталу салдары ретінде жарылу

Бірінші кезекте ажырауларды зерттеу илектеу нәтижесінде ұзартылған қосулар (мәні бойынша сульфидтер) мен матрицалар арасындағы декогезияға сәйкес келетін сипатты секіріс тәрізді алшақтықты анықтайды. Бұл жарылу түрі болдырмауға болады:

- Дәнекерлеу тігісінің конструкциясы, барынша мүмкін болатын дәрежеде қысқа көлденең бағытта кернеудің жоғары деңгейіне (геометрия, алдын ала майлау, балқытылған металл үшін серпімділік шегін шектеу және т.б.) әкеп соқтыратын процедуралардан алшақ);
- қалыңдығы бойынша жеткілікті икемділігі бар болаттың металлургиялық сапасын таңдау. Бұл сипаттама осы бағытта алынған және үзілгеннен кейін үйкеліс ($Z\%$) өлшенетін үзілуге сынау үшін цилиндрлік үлгілерде тексеріледі. Осылайша, біз « Z ...болаттар» туралы яғни қоспалардың құрамын шектеу (атап айтқанда, күкірттің әрекетімен айқындалған) және/немесе осы қоспалардың морфологиясын бақылау (кальций, сирек жер элементтерін

(церия және т.б.) қосу жолымен өндірісте өңдеу) жолымен алынатын қалыңдығы бойынша кепілді қасиеттері бар өнімдер туралы сөз қозғаймыз [OLE 81] және т. б.).

3.3 Термиялық циклдардың ТӘА механикалық қасиеттеріне әсері

Дәнекерлеуден туындаған микроқұрылымдардағы маңызды өзгерістер негізгі металмен салыстырғанда механикалық қасиеттердің елеулі өзгерістерімен сүйемелденеді. Олар созылу, қаттылық немесе тұтқырлық бойынша локализацияланған қасиеттерге қатысты қарастырылады.

3.3.1 ТӘА-да қаттылықтың немесе тіркесудің механикалық қасиеттерінің модификациялары

ТӘА механикалық қасиеттерінің өзгеруін (механикалық кедергі немесе, қаттылық [ГРУ 81] қасиеттері әртүрлі комбинациялардың нәтижесі болуы мүмкін негізгі металмен салыстырғанда түсіну керек (термомеханикалық композиция/өңдеу). Осылайша, конструкциялық болаттардың ірі топтарының арасында, мысалы, қалыпты өңдеу нәтижесінде алынған C-Mn феррит-перлитті құрылымды болаттарды, ферритті түйіршіктерді ұсақтауды және ұсақ дисперсті шөгінділерді, жоғары немесе өте жоғары беріктігі бар болаттарды (өте төмен көміртекті (ULCB) феррито-бейнитті немесе бейнитті), екі фазалы болаттарды (феррит-мартенситті), шындалған және босатылған болаттарды және т.б. біріктірген беріктігі жоғары болаттарды (HSLA) атап өтуге болады.

Жалпы, ірі түйіршік аймағымен байланысты термиялық циклдар негізгі металдың қаттылығымен салыстырғанда, әсіресе дәнекерлеуден кейін тез суытылған жағдайда, қаттылықтың жергілікті ұлғаюына әкеледі. Бұл механикалық біртектіліктің мақсаты дәнекерлеу қосылыстарының созылуына немесе көлденең майысуына тегіс сынау жағдайында негізгі металл жағына үзілу орнын ауыстыру болып табылады. ТӘА-да орналасқан ойықтарды қамтитын механикалық сынақтар жағдайында, аз қатты жапсарлас негізгі металдың болуы пластикалық аймақтың дамуына және көрінетін тұтқырлықтың ұлғаюына ықпал етеді [DEV 86a]. Кейбір шеткі жағдайларда (дәнекерлеу аймағы мен негізгі металл арасындағы қаттылықтың өте үлкен айырмашылығы, лазерлік дәнекерлеу немесе электронды сәулелі дәнекерлеу жағдайында өте жіңішке дәнекерлеу аймағы) үзілімнің қатты аймаққа қарай айтарлықтай ауытқуын атап өтуге болады [DEV 86b, GOL 76].

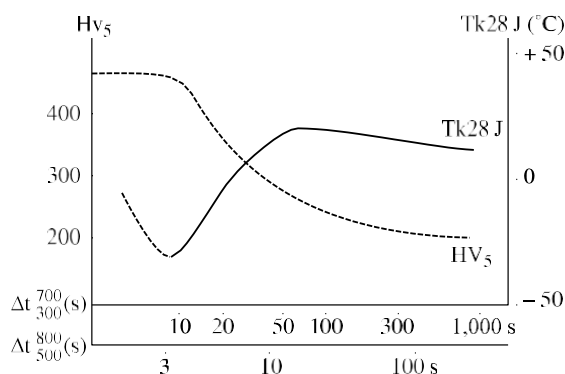
Кең мағынада, бұл осы аймақтағы ішкі механикалық әрекет арасындағы және әртүрлі әрекет үлгілерімен шектес аймақтар болған кезде механикалық ақау анықталған жағдайда ықтимал айырмашылықтарды көрсетеді. Барлық күрделі сұрақтар, дәнекерленген қосылыстардың әр түрлі бөліктеріндегі механикалық қасиеттердің өзара әрекеттесуі дәнекерленген қосылыстардың *келісімі* ретінде белгілі (мысалы, [Lon 94, TOY 92]).

Кейбір жағдайларда (мұқият термомеханикалық өңдеу жолымен алынған ағымдылық шегі жоғары негізгі металл) термиялық циклдер негізгі металмен салыстырғанда жұмсартылған аймақтардың түзілуін қамтуы мүмкін. Жұмсарту A_{c1} немесе A_{c3} [DEV 83, ITO 00] сәйкес температурада пайда болады және энергияның ұлғаю бойынша артады (мысалы, рельстерді термиялық дәнекерлеу кезінде). Кернеудің үш осьтік және локализацияланған нығыздау өте жиі жұмсарту аймағында деформацияның шамадан тыс шоғырлануын болдырмауға мүмкіндік береді. Жұмсарту амплитудасын шектеу қажет (негізгі метал мен ТӘА арасындағы қаттылықтың айырмасы), сондай-ақ осы аймақта деформация концентрациясы есебінен үзілуді немесе мерзімінен бұрын тозуды болдырмау үшін жұмсарту аймағының ені [DEV 84]. Соңында, бұл жұмсартылған аймақтың болуы кейде жергілікті сутектің жарылуымен (*кернеу желісі бағытында сутекті жарылу, немесе SOHIC*) байланысты болуы мүмкін [TAK 95].

3.3.2 ТӘА беріктік қасиеттері

ТӘА-да морт омырылымға қатысты дәнекерленген қосылыстардың өміршеңдігіне кепілдік беру мақсатында пайдаланушылар тарапынан және құрылыс нормалары жағынан механикалық қасиеттерге неғұрлым қатаң талаптар қойылады. ТӘА беріктігін дәнекерленген қосылыстардың ішінен кесе отырып, үлгілерді тікелей жою бойынша нақты бағалауға болады. Алайда, бұл әдіс көптеген қиындықтарды ұсынады (жоғары микроқұрылымды градиенттері бар өте тар аймақтарда ойықтардың нәзік орналасуы, қалдық кернеулер және т.б.), бұл іс жүзінде кедергінің беріктігі нәтижелерінің шамадан тыс шашырауына әкеледі. Сондықтан бұл аймақтардың беріктігі ТӘА-да кездесетін адамдарға тән модельденген термиялық өңдеуден өткен үлгілерде тәжірибелік сынақтар негізінде жиі бағаланады.

Мұндай имитациялық сынақтар негізінде 3.19-суретте ірі түйіршікті ТӘА суыту жылдамдығының кедергі беріктігінің 28 Дж деңгейіне дейінгі өту температурасына әсері көрсетілген. Сонымен қатар, ол ТӘА-да қаттылықтың тиісті эволюциясын қамтиды.



Сурет 3.19. *Ірі түйіршікті ТӘА-дегі суыту жылдамдығының қарсылық пен қаттылыққа әсері; болат C = 0,18%, Mn = 1,4%, Si = 0,4%; [BER 75]*

Ең жоғары салқындату жылдамдығына келетін болсақ, үш дәйекті кезең белгіленеді.

Мартенсит аймағының соңына сәйкес келетін ТӘА оңтайлы беріктігі. Дәнекерлеу кезінде алынатын мартенситтер көбінесе өздігінен жіберілетін планкалар болып табылады, ол <111> планканың бағыты бойынша тегістелген қатты балқитын өзекшелердің болуымен сипатталады.

Көміртегінің төмен пайыздық мөлшері бар болаттарда M_F мартенситті айналу соңының температурасы соншалықты жоғары, Ол тіпті дәнекерлеу циклы кезінде де мартенситтің белгілі бір босатылуына мүмкіндік береді. Осы көбінесе мартенситтік ТӘА-да төмен бейниттің болуы жиі кездеседі. Осылайша, осы жоғары салқындату жылдамдығымен алынған ТӘА құрылымының беріктігі шыныққан мартенситтердің және дәстүрлі термоөңдеу арқылы алынған аралас мартенсит-бейнитті құрылымдардың беріктігіне ұқсас.

Салқындату жылдамдығы азайған кезде беріктіктің күрт төмендеуі байқалады. Бұл өлшемдері немесе бейнитті қаптамалардың ажырауға тұрақтылығы аз болатын төменгі бейниттің өлшемі жоғары бейнитке қарай эволюциясына байланысты.

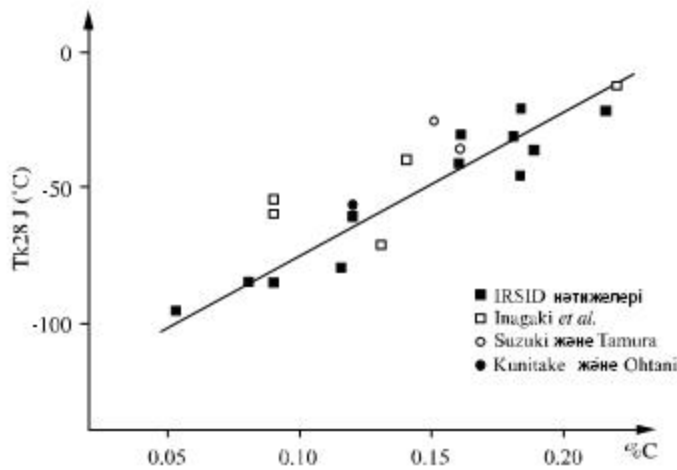
Салқындаудың ең баяу жылдамдығы (феррит-карбид құрылымдары) үшін, нәтижесінде, өткел температурасының аз төмендеуі салдарынан беріктіктің тұрақтануы байқалады. (3.2.2-бөлімді қараңыз), бұл салқындату жылдамдығының өрісі ферриттің кеңеюіне сәйкес келеді және кейбір авторлар [ОТТ 80] бұрынғы аустенитті түйіршіктердің шекарасында пайда болатын ферриттің проэвтектикалық қосылыстарының беріктігінің нашарлауы мен қалыңдығы арасындағы байланысты көрсетеді.

Бұл кезеңде жарылу беріктігі мен тұрақтылығына қатысты бір мезгілдегі талаптары кейде қарама-қайшы көрінуі мүмкін: ең төменгі беріктілік кепілдігі салқындату параметрінің шектелуіне байланысты болуы мүмкін (мысалы, $\Delta t_{500}^{800} < \Delta t_{1\text{крит}}$)

Екінші жағынан, суық жаруды болдырмау үшін ұмтылу өте күшті мартенситті пропорциядан (әдетте 80%), яғни болдырмау үшін ең төменгі салқындату жылдамдығын талап етуі мүмкін $\Delta t_{500}^{800} < \Delta t_{2\text{крит}}$

Осылайша, осы екі критерийлерді бір уақытта сақтау $\Delta t_{1\text{крит}}$ және $\Delta t_{2\text{крит}}$ мәндері арасындағы металлургиялық дәнекерлеу өрісінің тұжырымдамасына әкелуі мүмкін.

С-Мп және микро легирленген болаттардағы әртүрлі элементтердің термиялық әсердің ірі түйіршікті аймағындағы беріктікке әсері келесідей сұлбалық түрде ұсынылуы мүмкін



Сурет 3.20. ТЭА құрылымындағы TK28J өту температурасына көміртегі пайыздық құрамының әсері (мартенсит + төменгі бейнит); [DEV 88]

Көміртекті жоғары және төмен салқындату жылдамдығы жағдайында ТЭА тұтқырлығын тең дәрежеде төмендетеді. Осылайша, 3.20-сурет оңтайлы микроқұрылыммен (мартенсит-бейнит) ТЭА үшін беріктіктің өту температурасына көміртегінің жағымсыз әсері көрсетілген, сондықтан олар салыстырмалы тез салқындатылады.

Азоттың зиянды әсері дәнекерлегеннен кейін де, кернеуді түсіру жағдайында да орын алады.

Сонымен қатар, сыни аралық өрісте ірі түйіршікті және жоғары температуралы ТЭА беріктігін азайтатын, М-А қосылыстарының түзілуіне әкелетін элемент кремнийдің кейбір дәрежесіне дейін шектеу керек.

Белгілі бір шектерде ($P < 20 \times 10^{-3}\%$) фосфор жоғары энергиямен дәнекерленген жағдайда ТЭА беріктігіне айтарлықтай болмашы әсер етеді, бірақ энергияның төмен деңгейлерінде дәнекерленген жағдайда, атап айтқанда [GRO 86] кернеуді алып тастағаннан кейін айтарлықтай зиянды әсер етеді.

Бұған дейін айтылғандай, титанның бақыланатын қоспалары аустениттік түйіршіктің өсуін баяулатады. Бұл беріктікке пайдалы әсер, сондай-ақ бос азоттың бөлігін бекіту арқылы күшейтіледі. Егер, бұдан басқа, мақсат сұйық күйінде нитридтердің өрескел шөгуін болдырмау болып табылса, титан мен азот құрамы олардың белсенділік өнімі сұйық күйінде ерігіш өнімнен төмен қалатындай болуы тиіс.

Әр түрлі зерттеулер көрсеткендей, тиімді титан қоспалары азотты болаттарда жүргізілуі тиіс ($< 5 \times 10^{-3}\%$) және өздері жеткілікті түрде төмен болуы қажет ($Ti \leq 10 \times 10^{-3}\%$) [BAK 97, DEV 88, YAO 90].

Жақында әзірленген, құрамында титан оксидтері бар болаттар өте жақсы соққы қасиеттерін көрсетеді. Бұл жағдайда термиялық өте тұрақты оксидтер, тіпті жоғары температурада (мысалы, 1400°C) ТЭА салқындаумен феррит өсуінің учаскелері ретінде пайдаланылуы мүмкін және бағдарсыз жіңішке ине феррит құрылымының түзілуін қамтиды.

Бор-бұл өте тиімді элемент, ол арқылы шыңдалуды арттыруға және проэктоидты феррит немесе феррит widmanstätten түзілуін шектеуге болады. Дегенмен, борокарбидтердің шөгуі немесе М-А [RAM 86] қосылыстарының пайда болуы нәтижесінде сынғыштықты болдырмау үшін b құрамын 10-15 ч/млн дейін шектеу қажет.

Никельдің гаммагендік қасиеті суыту кезінде айналу температурасын едәуір

төмендетеді және түйіршік мөлшерін жақсартады. Құрамында 0,3-тен 0,5%-ға дейін болған кезде ол ТӨА-да, сондай-ақ негізгі металда беріктігін арттырады.

Баяу суыған жағдайда (мысалы, $T > 800 > 100$ с) немесе одан кейінгі босату кезінде ниобий және ванадий сияқты дисперсиялық элементтер қайта шөгуі және белгілі бір борлауға әкелуі мүмкін. Алайда болаттың осы маркасы үшін, қолайсыз әсер елеулі дәрежеде осы элементтердің болуы, әдетте, көміртегі пайыздық құрамының айтарлықтай төмендеуіне байланысты.

3.3.3 Дәнекерлеумен байланысты қалдық кернеулер

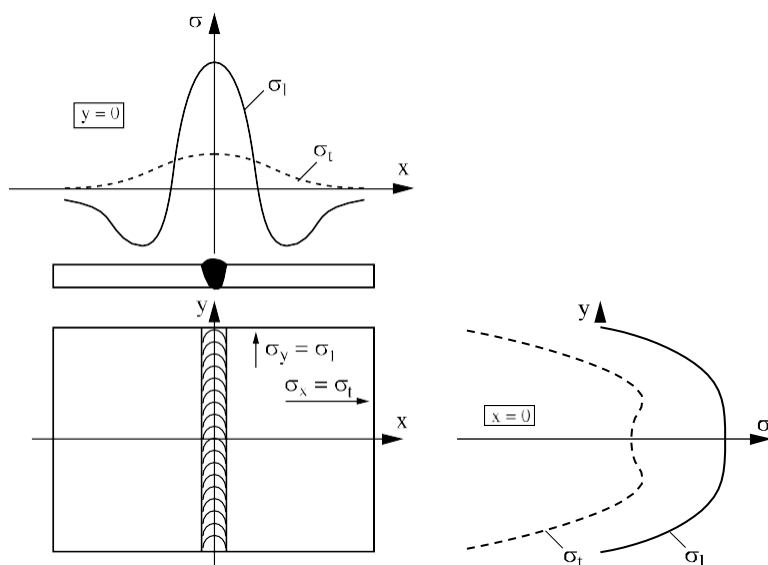
Қалдық дәнекерлеу кернеулерінің пайда болуы жылу көзінің оқшаулануына және температураға байланысты материалдардың механикалық қасиеттерінің өзгеруіне байланысты. Қалдық кернеудің екі көзін анықтауға болады:

– тек термиялық шығу тегі бар қалдық кернеулер келесі фактілердің нәтижесінде пайда болады: температураның T жоғарылауы кезінде орталық аймақтың элементі материалдың сызықтық кеңею коэффициентін көрсететін $H D' T, D$ дәрежесіне дейін кеңейтілуі тиіс. Шын мәнінде, бұл кеңейту өте шектеулі, өйткені жақын орналасқан суық учаскелер тежеуші рөл атқарады. Осылайша, элемент оларға қатысты қысылуға ұшырайды. Жоғары температурада ағымдылық шегі өте әлсіз, барлық пайда болатын деформациялар пластикалық деформацияларға сәйкес келеді. Суыту кезінде жағдай қарама-қарсы өзгереді: қыздырылған орталық аймақ еркін созыла алмайды және көрші аймақтар жағынан қысымға ұшырайды.

Салқындағаннан кейін қыздырылған аймақтар (балқытылған металл және ТӨА) қалдық созылатын кернеулерге ұшырайды, бұл ретте теңгерім тұрғысынан көршілес аймақтар қысу жағдайында болады. Балқытылған металда осылайша жасалған кернеулер өте жоғары болуы мүмкін, бөлме температурасында деформацияға материалдың тұрақтылық тәртібі. 3.21- суретте дәнекерленген қосылыстың ішінде бойлық үлестірудің немесе көлденең кернеулердің (дәнекерлеу бағытына қатысты) типтік үлгісі көрсетілген.;

- салқындату кезінде аллотропиялық айналулармен байланысты қалдық кернеулер: конструкциялық болаттар жағдайында аустениттің айналуы әрқашан айқын көрінген кеңейтумен қоса жүреді. Егер бұл салыстырмалы төмен температурада орын алса (ыстыққа төзімді материалдар, жылдам салқындату және т.б.), деформация пластикалық емес, серпімді болады. Көршілес аймақтарға қатысты қарама-қарсы кеңейтілім қалдық сығу кернеуін тудырады.

Түсірілген жылу кернеулеріне қатысты олар созу кернеулерінің деңгейін төмендетуі мүмкін және тіпті ТӨА қысу кернеулеріне әкеп соқтыруы мүмкін [MAS 80].



Сурет 3.21. Сурет 3.21. Дәнекерленген қосылыстағы көлденең қалдық кернеулердің және бойлық таралудың типтік үлгісі [MAS 77]

Дәнекерлеу нәтижесінде пайда болатын қалдық кернеулер пайдалану процесінде

кернеуге салынады және осы себеппен түрлі құбылыстарда немесе қасиеттерде рөл атқарады: суық жарылу, қажу беріктігі, үзілу, кернеудегі коррозия және т.б.

3.3.4 Кернеуге төзімді қалдық термоөңдеудің ТӨА-ға әсері

Кейбір жағдайларда қалдық дәнекерлеу кернеуі тораптардың пайдалану сипаттамаларын айтарлықтай төмендетуі мүмкін және кернеуді алып тастау арқылы олардың деңгейін төмендету қажет. Бұл операцияның қағидалы аспектісі қалдық серпімді кернеулерді пластикалық деформацияға түрлендіруден тұрады. Көбінесе бұл материалдың серпімділік шегі осы түрленуге қол жеткізу үшін жеткілікті төмен болатын температурада дәнекерлегеннен кейін термиялық өңдеу арқылы орындалады. Осылайша, бұл келесі талаптарды қамтиды:

- рельеф жеткілікті түрде маңызды болатын температураға дейін баяу қыздыру;
- осы температураны ұстап тұру (мысалы, С-Мп және микро қоспаланған болаттар үшін 530-630°C және Cr-Мо болаттары үшін 670-тен 710°C дейін және т.б.);
- жаңа қалдық кернеулерді тудырмау үшін жеткілікті баяу салқындату.

Біз мұнда өңдеудің осы түрінің кейбір жалпы металлургиялық салдарларын көрсете отырып, шарттардың дәл таңдауы көптеген факторларға (материал түріне, қалыңдыққа және кез келген қолданыстағы нормаларға (BER 78)) байланысты екенін еске сала отырып, шектейміз.

Жалпы, рельефтік өңдеуге байланысты жұмсарту шыңдалған микроқұрылымдарға қолайлы әсер етеді, бірақ бұл тиімді емес, бұл ТӨА бастапқы құрылымдар феррит-карбид болып табылады. Сондай-ақ дәнекерлеу кезінде немесе суық өңдеуден кейін деформациялық беріктенген қажу аймағының қалпына келтірілуіне байланысты қолайлы әсерді атап өткен жөн.

Микро легірілетін элементтердің тұнбасы (Nb, V) әдетте ТӨА-да салқындату кезінде толық емес болып табылады. Кернеуді алу үшін термиялық өңдеу кезінде болуы мүмкін қосымша тұндыру, әдетте беріктікке зиянды әсер етеді. Осылайша, өңдеудің металлургиялық әсері көбінесе матрицаны жұмсарту (қолайлы) және тұнбаның көп немесе аз мөлшері (қолайсыз) механизмі арасындағы шиеленістің нәтижесі болады.

Шыңдау өңдеу кейде дәнекерленген қосылыстардан сутегі диффузиясына мүмкіндік бере отырып, қаттылық деңгейін төмендетіп және осылайша суық жарықтардың пайда болу қаупін төмендетіп қосымша қыздыру рөлін атқара алады (3.2.4-бөлімді қараңыз).

Төмен қоспаланған болат жағдайында Mn, Cr, Ni қосу Мо [BLO 80] қоспаларына қарағанда, кейіннен баяу салқындатумен кернеуді алып тастау мақсатында өңдеу үшін үзілуге беріктіктің кейбір нашарлауына әкелуі мүмкін. Бұл құбылыс ірі түйіршікті және одан да көп сипатты күшейтеді. [BLO 88] босату кезінде кері морттылық мәселесін болдырмау үшін қоспалардың мазмұнын шектеу маңызды, бұл қол жеткізілуі мүмкін, мысалы, Брускато параметрі арқылы: $X = (10P + 4Sn + 5Sb + As) / 100$, талап ету ерекшеліктері үшін 10 мәнінен төмен [BER 97].

Кейбір жағдайларда (төмен қоспаланған болаттар, никель және т.б. қорытпалар) кернеуді алып тастау үшін термиялық өңдеу [DHO 87, DHO 92] қайта қыздыру кезінде жарылу ретінде белгілі ТӨА-да саңылаусыздыққа ұшырайды.

Бұл құбылыс айтарлықтай қалдық кернеулердің болуы кезінде, әсіресе геометриядан туындаған жергілікті кернеулерде, ірі дәндердің аймақтарында, сол буындарда (ALN, Mo, Nb, V карбидтері) және жекелеген қоспалармен (S, P, As, Sn), Sb және т.б.) әлсіреген. Мұндай жарықтардың пайда болуы, әдетте, дәнекерлегеннен кейін өңдеу кезінде дәннің ішкі бетінің атмосфералық нығыздалуы ретінде түсіндіріледі, ол дәндердің аз тұрақты шекараларына шоғырлана отырып, кернеудің барлық алынуын немесе дәндердің ішіндегі пластикалық деформацияны шектейді. Осылайша, қызған кезде жарықтың алдын алу аз сезімтал материалдарды пайдалануды қамтиды, сондай-ақ дәнекерлеудің қолайлы шарттарын пайдалану арқылы: төмен кедергісі бар балқытылған металл, майлау, жоғары жылу үлесі және/немесе алдын ала қыздыру, босату шарлары әдісін пайдалану, яғни тар алдыңғы және т.б. нақтылауға қол жеткізу үшін өтеді.

3.4 Қолданылған әдебиеттер тізімі

- [AND 65] ANDREWS K.W., "Empirical formulae for the calculation of transformation temperature", *Journal of the Iron and Steel Institute*, no. 7, July 1965.
- [ATS 80] ATS/OTUA, "Conseils pour le soudage des aciers de construction métallique et chaudronnée à limite d'élasticité garantie d 420 N/mm²", *Cahiers de l'ATS/OTUA*, 1980.
- [BAK 97] BAKER T.N., *Titanium Technology in Microalloyed Steels*, Institute of Materials Publications, 1997.
- [BER 72] BERNARD G., PRUDHOMME M., "Compléments à l'étude des phénomènes thermiques dans les joints soudés", *Revue de Métallurgie*, July-August 1972.
- [BER 75] BERNARD G., "A view-point on the weldability of C-Mn and microalloyed structural steels", *Microalloying Symposium 75*, Washington, October 1975.
- [BER 78] BERNARD G., Opportunité des traitements thermiques de relaxation dans les constructions soudées, Doc. IIS/IIW no. X.913-78, 1978.
- [BER 97] BERANGER G., HENRY G., LABBE G., SOULIGNAC P., *Les aciers spéciaux*, Lavoisier, 1997.
- [BHA 92] BHADOSHIA H.K.D.H., *Bainite in Steels*, Institute of Materials, 1992.
- [BLO 80] BLONDEAU R., "Les aciers faiblement alliés soudables, influences des éléments d'addition", *Soudage et Techniques Connexes*, January-February 1980.
- [BLO 88] BLONDEAU R., "La fragilité de revenu réversible, facteurs et remèdes", *Traitement thermique*, 220, 1988.
- [CHA 74] CHANDEL R.S., GARBER S., "Mechanical and metallurgical aspects of spot-welded joints in heat-treated low-carbon mild steel sheet", *Metals Technology*, September 1974.
- [CHR 65] CHRISTENSEN N., DAVIES V. DE L., GJERMUNDSEN K., "Distribution of temperatures in arc welding", *British Welding Journal*, February 1965.
- [CLY 58] CLYDE M., ADAMS C.M., "Cooling rates and peak temperatures in fusion welding", *Welding Research Supplement*, May 1958.
- [CON 87] CONNOR L.P., *Welding Handbook*, volume 1, American Welding Society, 1987.
- [CON 92] CONSTANT A., HENRY G., CHARBONNIER J.C., *Principes de base des traitements thermomécaniques et thermochimiques des aciers*, PYC Edition, 1992.
- [DEA 40] DEARDEN J., O'NEILL, "A guide to the selection and welding of low alloy structural steels", *Trans. Int. Welding*, 1940.
- [DEB 82] DEBROY T., SZEKELY J., EAGAR T.W., "Temperatures profiles, the size of the Heat-Affected Zone and dilution in electroslag welding", *Materials Science and Engineering*, no. 56, 1982.
- [DEF 75] DEFOURNY J., BRAGARD A., "Caractérisation des cycles de température en soudage bout à bout à l'arc submergé de tôles d'aciers au moyen de deux grandeurs du champ thermique", *Revue Belge de la Soudure*, no. 3, Lastijdschrift, 1975.
- [DEV 83] DEVILLERS L., KAPLAN D., MOUSSY F., Soudabilité des aciers trempés et revenus obtenus par trempe directe, Final research report, CECA no. 7210 KA/308, 1983.
- [DEV 84] DEVILLERS L., KAPLAN D., MOUSSY F., Prédiction et comportement de la zone adoucie des aciers trempés-revenus, IRSID Report no. RE 1137, September 1984.
- [DEV 85] DEVILLERS L., KAPLAN D., Propriétés d'emploi d'assemblages obtenus par faisceau d'électrons des tôles de forte épaisseur en acier de construction, Final research report CECA no. 7210 KA/310, IRSID Report RE 1252, December 1985.
- [DEV 86a] DEVILLERS L., KAPLAN D., MAAS E., "Aspects mécaniques de l'évaluation de la ténacité d'éprouvettes métallurgiquement hétérogènes", *Revue de Métallurgie*, CIT, April 1986.
- [DEV 86b] DEVILLERS L., KAPLAN D., Interpretation of deviated fracture of electron beam steel welds in notch bending tests, IRSID Report no. RE 1319, 1986.
- [DEV 87] DEVILLERS L., KAPLAN D., JANSEN J.P., "Simulation thermique des zones affectées par la chaleur en soudage multipasse des aciers de construction", *Soudage et Techniques connexes*, March-April 1987.
- [DEV 88] DEVILLERS L., KAPLAN D., JANSEN J.P., "Aspects thermiques et métallurgiques de la ténacité des ZAC", *Revue de Métallurgie*, CIT, March 1988.
- [DEV 89] DEVILLERS L., KAPLAN D., Aspects métallurgiques de l'assemblage des tôles de faible épaisseur par LASER CO₂, Final research report CECA no. 7210 KA/314, IRSID Report RCA 89333, October 1989.
- [DEV 91] DEVILLERS L., KAPLAN D., TESTARD P., An approach for predicting microstructures and toughness properties in HAZ of multipass welds, IRSID Report 91316, March 1991.
- [DHO 87] DHOOGHE A., VINCKIER A., "Reheat cracking – a review of recent studies", *Int. J. Pres. Ves. and Piping*, 27, 1987.
- [DHO 92] DHOOGHE A., VINCKIER A., "La fissuration au réchauffage- revue des études récentes (1984-1990)", *Le Soudage dans le Monde*, vol. 30, no. 3-4, 1992.

- [EAS 83] EASTERLING K., *Introduction to the Physical Metallurgy of Welding*, Butterworths, 1983.
- [GOL 76] GOLDAK J., BIBBY M., "The toughness of EB welds in HSLA steels", *Welding of HSLA Structural Steels Conference*, Rome, ASME Publications, 1976.
- [GRA 95] GRANJON H., *Bases métallurgiques du soudage*, Publications du soudage et ses applications, 2nd edition, 1995.
- [GRO 86] GRONG O., AKSELSEN O.M., "HAZ toughness of microalloyed steels for offshore", *Metal Construction*, September 1986.
- [GRO 94] GRONG O., *Metallurgical Modelling of Welding*, Institute of Materials, 1994.
- [GRU 81] GRUMBACH M., *Les essais de dureté*, Collection IRSID-OTUA, 1981.
- [HAL 84] HALE G.E., NUTTING J., "Overheating of low-alloy steels", *International Metals Review*, vol. 29, no. 4, 1984.
- [HEH 72] HEHEMANN R.F., KINSMAN K.R., AARONSON H.I., "A debate on the bainite reaction", *Metallurgical Transactions*, vol. 3, May 1972.
- [HEI 75] HEISER F.A., DE FRIES R.S., "Temper embrittlement in steel for thick wall gun tubes", *Journal of Metals*, January 1975.
- [HON 95] HONEYCOMBE R.W.K., BHADOSHIA H.K.D.H., *Steels, Microstructure and Properties*, Edward Arnold, 1995.
- [HRI 95] HRIVNAK I., "Weldability of modern steel materials", *ISIJ International*, vol. 35, 1995.
- [IKA 80] IKAWA H., OSHIGE H., TANOUE T., Effect of M-A constituent on HAZ toughness on a high strength steel, Document IIS-IIW, no. IX-1156-80, 1980.
- [IKE 95] IKEUCHI K., LIAO J., TANABE H., MATSUDA F., "Effect of temper-bead thermal cycle on toughness of weld ICCGHAZ of low alloy steel SQV-2A", *ISIJ International*, vol. 35, 1995.
- [INO 98] INOUE K., *ISIJ International*, vol. 38, no. 9, 1998.
- [ION 97] ION J.C., "Modelling of LASER welding of Carbon-Manganese steels", in H.C. Cerjak (ed.), *Mathematical Modelling of Weld Phenomena 3*, Institute of Materials, 1997.
- [IRS 77] IRSID, "Courbes dureté-paramètre de refroidissement en conditions de soudage", collection established at the IRSID, 1977.
- [ITO 00] ITO R., SHIGA C., KAWAGUCHI Y., HAYASHI T., SHINOHARA H., TORIZUKA S., Microstructural analysis of softening region on weld HAZ of ultra-fine grained steels, Document Institut International de la Soudure no. IX-1968-00, 2000.
- [KAN 76] KANAZAWA S., "Improvement of weld fusion zone toughness by fine TiN", *Transactions ISIJ*, vol. 16, 1976.
- [KAP 98] KAPLAN D., STUREL T., "Couplage d'un modèle métallurgique de soudage et de critères locaux de rupture pour prévoir la ténacité des joints soudés multipasses", *9èmes Journées AFIAF*, Paris, October 1998.
- [KAW nd] KAWABATA F., AMANO K., TOYODA M., MINAMI F., Tempering effect by succeeding weld passes on multi-layered HAZ toughness, doc. Kawasaki Steel, no date.
- [KOS 81] KOSO M., MIURA M., OHMORI Y., "Microstructure and toughness of weld HAZ in 785 MNm⁻² steel", *Metals Technology*, December 1981.
- [KOU 86] KOU S., WANG Y.H., "Computer simulation of convection in moving arc weld pools", *Met. Trans. A*, vol. 17A, December 1986.
- [LAM 99] LAMBERT A., DRILLET J., GOURGUES A.F., STUREL T., PINEAU A., Microstructure of M-A constituent in HAZs of HSLA steel welds in relation with toughness properties, IRSID report, no. 99 21, 1999.
- [LIN 89] LIN Y., ABKEN M.G., BOWKER J.T., "Mechanical and microstructural analysis of multi-pass welded HAZ", *Proceedings of Recent Trends in Welding Science and Technology*, ASM International, Gatlinburg, 1989.
- [LON 94] LONGAYGUE X., KAPLAN D., MAURICKX T., "Etude paramétrique de l'influence des facteurs d'hétérogénéité mécanique sur le comportement en service des assemblages soudés", *Revue de Métallurgie*, CIT, June 1994.
- [MAK 77] MACHERAUCH E., WOHLFAHRT H., "Different sources of residual stress as a result of welding", in *Residual Stresses in Welded Construction and their Effects*, The Welding Institute Publications, London, 1977.
- [MAR 80] MARQUET F., DEFOURNY J., MARIQUE C., MATHY H., BRAGARD A., Recherches sur les connaissances de base en vue d'améliorer le soudage des aciers sous haut apport calorifique, Rapport final de recherche CECA no. 7210 LA/303, 1980.
- [MAS 80] MASUBUCHI K., *Analysis of Welded Structures*, Pergamon Press, 1980.
- [MAT 94] MATSUDA F., FUKADA Y., OKADA H., SHIGA C., IKEUCHI K., HORII Y., SHIWAKU T., SUZUKI S., Review of Mechanical and Metallurgical Investigations of M-A constituent in Japan, Doc. IIS-IIW no. IX-1782-94, 1994.
- [MIE 92] MIETTINEN J., "Mathematical simulation of interdendritic solidification of low- alloyed and stainless steels", *Acta Polytechnica Scandinavica*, Chemical Technology and Metallurgy Series, no.

207, 1992.

[MUR 67] MURRY G., PRUDHOMME M., CONSTANT A., "Etude des transformations dans la zone thermiquement affectée lors du soudage et son intérêt pour l'estimation de la dureté sous cordon", *Revue de Métallurgie*, 64, no. 6, June 1967.

[NIL 75] NILES R.W., JACKSON C.E., "Weld thermal efficiency of the GTAW process", *Welding Journal, Welding Research Supplement*, January 1975.

[OHM 74] OHMORI Y., OHTANI H., KUNITAKE T., "Tempering of the bainite/martensite duplex structure in a low-carbon low-alloy steel", *Met. Sci.*, vol. 8, 1974.

[OKA 92] OKAGUCHI S., *ISIJ International*, vol. 32, no. 3, 1992.

[OLE 81] OLETTE M., GATELLIER C., "Action d'une addition de calcium, de magnésium ou des éléments des terres rares sur la propreté inclusionnaire des aciers", *Revue de Métallurgie*, CIT, December 1981.

[OTT 80] OTTERBERG R., SANDSTRÖM R., SANDBERG A., "Influence of Widmanstätten ferrite on mechanical properties of microalloyed steels", *Metals Technology*, October 1980.

[POR 34] PORTEVIN A., SEFERIAN D., *XI^e Congrès de l'Acétylène et de la Soudure Autogène*, Rome, vol.3, 1934.

[RAM 86] RAMBERG M., AKSELSEN O.M., GRONG O., "Embrittlement phenomena in the intercritical HAZ of boron-containing steels", *Advances in Welding Science and Technology*, Publications de l'ASM, Gatlinburg, 1986.

[REE 94] REED R.C., BHADESHIA H.K.D.H., "A simple model for multipass steel welds", *Acta Metall. Mater.*, vol. 42, no. 11, 1994.

[RIS 74] RIST A., ANCEY-MORET M.F., GATELLIER C., RIBOUD P.V., "Equilibres thermodynamiques dans l'élaboration de la fonte et de l'acier", *Techniques de l'Ingénieur*, M 1733, 1974.

[ROS 46] ROSENTHAL D., "The theory of moving sources of heat and its applications to metals treatments", *Transactions ASME*, vol. 68, 849, 1946.

[RYK 61] RYKALINE N.N., "Calcul des processus thermiques de soudage", *Soudage et techniques connexes*, no. 1-2, 1961.

[TAI 95] TAILLARD R., VERRIER P., MAURICKX T., FOCT J., "Effect of silicon on CGHAZ toughness and microstructure of microalloyed steels", *Met. Trans. A*, vol. 26, February 1995.

[TAK 95] TAKAHASHI A., OGAWA H., "Influence of softened heat-affected zone on stress oriented hydrogen induced cracking of a high strength line pipe steel", *ISIJ International*, vol. 35, 1995.

[TOY 86] TOYODA M., Fracture toughness evaluation of steel welds (Review), Osaka University Document, July 1986.

[TOY 92] TOYODA M. (ed.), *Proceedings of the Workshop Mismatching and its Control*, Osaka University, Tokyo, July 1992.

[WEI 95] WEISS D., SCHMIDT J., FRANZ U., "A model of temperature distribution and weld pool deformation during arc welding", *Mathematical Modelling of Weld Phenomena 2*, Institute of Materials, 1995.

[YAO 90] YAO S., KOÇAK M., Influence of titanium on HAZ microstructure and toughness of offshore steel welds: literature review – part 1, Report GKSS, no. 90/E/39, 1990.

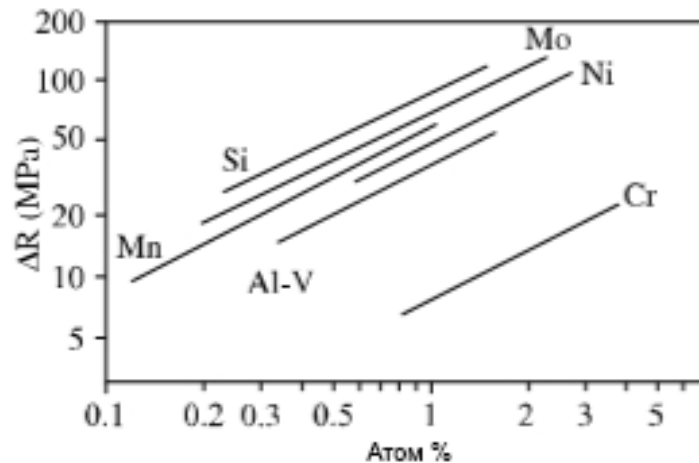
[YUR 87] YURIOKA N., OKUMURA M., KASUYA T., COTTON H.J.U., "Prediction of HAZ hardness of transformable steels", *Metal Construction*, April 1987.

[ZAC 93] ZACHARIA T., DAVID S.A., "Heat and fluid flow in welding", *Mathematical Modelling of Weld Phenomena*, Institute of Materials, 1993.

[ZEN 48] ZENER C., *Transactions ASME*, no. 45, 1948.

4.1 Металлургиялық көрсеткіштер

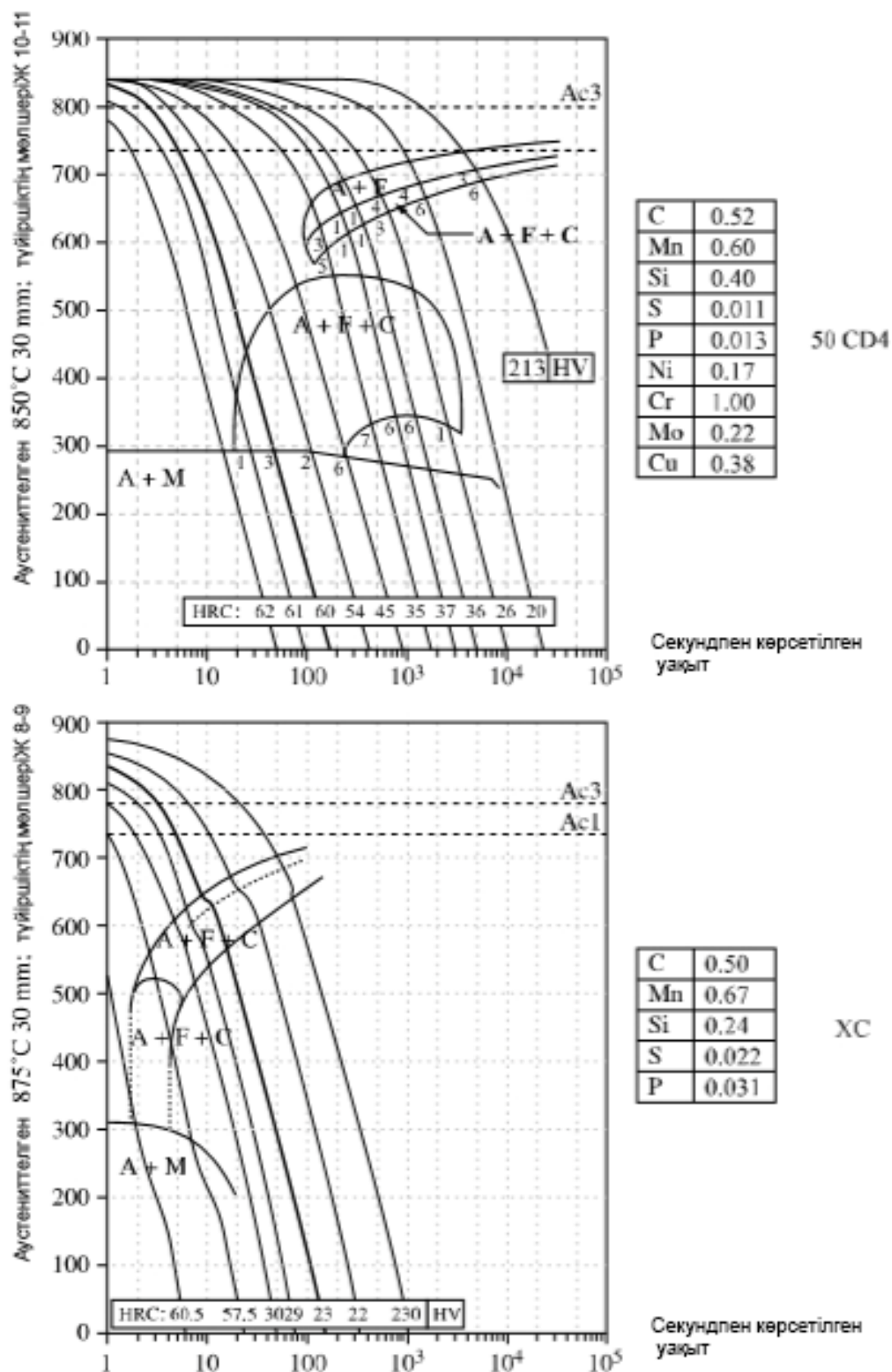
Болаттың механикалық сипаттамалары оның құрылымы мен химиялық құрамына байланысты. Осы құрылым үшін химиялық құрам қатты ерітіндідегі элементтердің әсерінен механикалық қасиеттерге әсер етеді.



Сурет 4.1. Сурет 4.1. Қатты ерітіндідегі түрлі элементтердің әсері есебінен шойынның беріктілік шегін арттыру; [GAR 75]

4.1-суретте көрсетілгендей, бұл әсер қарапайым болып табылады, өйткені атомды 1% хромға немесе молибденге қосу феррит беріктігін тек 6 немесе 70 МПа-ға өзгертеді.

Болат құрылымына келетін болсақ, ол термиялық өңдеуге, сондай-ақ оның шынығуын анықтайтын химиялық құрамға байланысты. Осылайша, әртүрлі химиялық құрамы екі болат бірдей термиялық өңдеу кезінде бірдей құрылымға әкелмейді, демек, әртүрлі механикалық қасиеттерге ие болады.



Сурет 4.2. Салқындатудың үздіксіз түрлендіру диаграммалары (CCT); [COL 74]

ССТ ХС48 және 50СD4 болаттарының диаграммалары қоспалаушы элементтердің қатты ерітіндісінің әсерінен шексіз жоғары екенін көрсетеді. Көміртегінің бірдей пайыздық құрамы бар екі болат бірдей құрылымдық күйде болған кезде бірдей қаттылыққа ие (қаттылық: 210/220 HV феррит + перлит күйіндегі; 60/62 HRC мартенсит күйіндегі), бірақ олар бірдей термиялық өңдеуге ұшырағанда өте әртүрлі сипаттамалары бар. Осылайша,

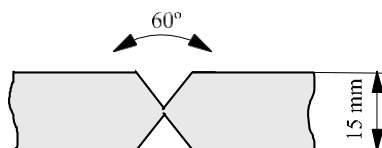
4.2-суретте көрсетілген салқындату жылдамдығы үшін 50CD4 Болат 60 HRC қаттылығын беретін мартенситті құрылымға ие, ал XC48 Болат феррит+перлит құрылымы бар, оның қаттылығы тек 23 HRC құрайды.

Бұл металлургиялық қағидалар өте кең, демек, дәнекерлеу металлургиясына да қолданылады. Осылайша, біз термиялық және химиялық тұрғыдан кез келген дәнекерлеу операцияларын зерттеуге тура келеді.

4.2 Балқытылған металл

4.2.1 Термиялық аспект

Термиялық аспект 3-тарауда қарастырылды. Пайдаланылатын тәсіл балқытылған металдың кез келген нүктесіне қолданылады және дәнекерлеу энергиясы, қосылу түрі, процесс, тиісті қалыңдығы/қалыңдығы, алдын ала қыздыру температурасы және/немесе өту арасындағы температура белгілі болған жағдайда жеткілікті дәлдікпен әрбір жинау өткінінің салқындату шарттарын анықтауға болады.



Сурет 4.3. Флюспен айналмалы доғалы дәнекерлеу

Термиялық циклге жұмыс шарттарының өзгеруінің әсері әдетте дәнекерлеушілердің көпшілігімен бағаланбайды. Мысалы, IRSID графигінің көмегімен (3.8-суретті қараңыз) электр параметрлерінің немесе температураның елеусіз өзгеруі өтпелі жолдар арасындағы термиялық дәнекерлеу циклін едәуір өзгертуі мүмкін, демек, дәнекерленген қосылыстың механикалық қасиеттерін (4.1-кестені қараңыз) көруге болады.

Мұндай вариацияларды дәнекерлеуші сулауды жақсарту үшін немесе шағын өлшемді омологация үлгісін орындау кезінде уақытты үнемдеу үшін пайдалануы мүмкін, бұл құрылыстың нақты жағдайларына қарағанда өту жолдары арасындағы анағұрлым жоғары температураға әкеледі.

Кесте 4.1. IRSID кестесінің негізінде термиялық циклді бағалау; [COL 77]

Дәнекерлеу энергиясының әсері			
1-ші өткел	Үлгі 1	Өзгеріс	Үлгі 2
Дәнекерлеу параметрлері	600 А; 28 В; 50 см/мин		660 А; 30 в; 40 см/мин
Дәнекерлеу энергиясы	20.16 кДж/см	47.3%	29.7 кДж/см
Δt 800/500	11 сек	263%	40 сек

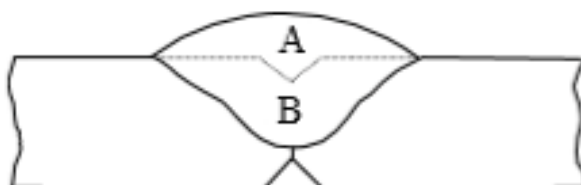
Өту арасындағы температураның әсері			
2-ші өткел	Үлгі 3	Өзгеріс	Үлгі 4
Дәнекерлеу параметрлері	600 А; 28 В; 50 см/мин		600 А; 28 В; 50 см/мин
Температура	20°C	130°C	150°C
Дәнекерлеу энергиясы	20.16 кДж/см	-	20.16 кДж/см
Δt 800/500	11 сек	82%	20 сек

4.2.2 Химиялық аспект

Балқытылған металл құрамы

Балқытылған металдың химиялық құрамы дәнекерлеу өнімімен және негізгі металмен қосылатын металдардың қоспасына байланысты. Дәнекерленген тігістегі негізгі металдың үлесі сұйылту коэффициентімен сипатталады (4.4-суретті қараңыз).

$$\text{Араластыру коэффициенті} = \frac{\text{Беті (B)}}{\text{Беті (A + B)}}$$



Сурет 4.4. Балқытылған металдың құрамына негізгі металдың әсері

Бұл жағдайда негізгі металдың үлесі көп немесе маңызы аз, және көп жүрісті қосылыс жағдайында ол бір өтпе жолынан екіншісіне өзгереді. Алайда, дәнекерлеу өнімдері олардың «сыртқы сұйылту» шөгінділері термиялық дәнекерлеудің неғұрлым дәстүрлі циклдарына сәйкес келетін салқындату жағдайында қажетті механикалық қасиеттерге ие болатындай етіп химиялық теңдестірілген. Дәнекерлеу материалы салқындатқыш фазаға айналғанда, сол механикалық қасиеттерді алуға мүмкіндік беретін дәнекерлеу өнімімен қосылатын металды талдау негізгі металдан айырмашылығы бар, өйткені соңғы өндіріс кезінде салқындату шарттары Дәнекерлеумен байланысты жағдайлардан қатты ерекшеленеді. Осылайша, сұйылту әсерінің арқасында балқытылған металл қосылған металды талдау мен негізгі металды талдау арасында аралық талдау бар және бұл талдау көп өтпелі дәнекерлеу кезінде бір өткелден екіншісіне түрленуі мүмкін. Сондықтан жұмыс режимі процедураларының көпшілігі дәнекерлеу қосылыстарында түрлі деңгейлерде және тамыр аймағында, сұйылту коэффициенті ең жоғары, демек, беріктіктің ең төменгі мәндері жиі табылған, онда, қасиеттерді тексеруді талап етеді. Осы біліктіліктерге қарамастан, өндірушілер өндіріс үдерісінде түйіндердің қасиеттерін тексеру кезінде, егер олар әртүрлі көздердің материалдарына жүгінсе, жағымсыз тосын оқиғалардан аулақ болған жоқ. Бұл пайдалану процедурасының біліктілігі негізгі металдың стандартталған белгіленуін ескереді және көп жағдайда өнімнің механикалық қасиеттеріне негізделген. Осылайша, өндірістің әртүрлі қол жетімді технологияларына сәйкес, әртүрлі болат өндірушілер бір өндіруші бірдей пайдаланатын үш болаттың талдаулары сияқты стандартталған белгіге сәйкес болу үшін айтарлықтай ерекшеленетін талдауларды пайдаланатын болады (4.2-кестені қараңыз). Егер олар бір сәйкес материалмен дәнекерленген болса, бұл болаттар талап етілетін стандартқа сәйкес болса да, сұйылту дәрежесі жоғары аймақтарда балқытылған металдың өте әртүрлі талдаулары мен механикалық қасиеттеріне әкеледі.

Кесте 4.2. Бір стандартталған белгіге сәйкес келетін болаттардағы аналитикалық вариациялардың мысалдары

%	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni
NF EN	0.08		0.9				
10028:	0.20	<0.4	1.5	<0.03	<0.02	<0.30	<0.30
P295GH				0	5		
Болат 1	0.20	0.23	1.02	0.014	0.008	-	-
Болат 2	0.13	0.28	0.99	0.013	0.010	0.29	-
Болат 3	0.12	0.40	1.34	0.018	0.008	0.24	0.12

Балқытылған металдың аналитикалық сипаттамалары

Шөгінді металл доға атмосферасында тұнба өнімінің қорытылуы нәтижесінде

болады. Отқа төзімді электродпен дәнекерлеу процестері (ВИГ, плазма дәнекерлеу) әдетте вольфрам электродының тез тозуын болдырмау үшін инертті атмосферада орындалады. Бұл үдерістер қолданылған кезде, шөгінді металл талдау толтырғыштың талдауына өте жақын; ол будың тиісті кернеулерінің функциясы болып табылатын әр түрлі қатысып отырған элементтердің ұшып кетуімен ерекшеленеді. Осылайша, толтырғышпен салыстырғанда балқытылған металдағы марганец құрамының төмендеуі байқалады.

Екінші жағынан, доға атмосферасының барлық басқа үдерістері үшін әдейі көп немесе аз тотығады, себебі негізгі металл бетінің жеңіл тотығуы электрондардың эмиссиясына және доғаның тұрақтылығына ықпал етеді. Бұл жағдайда тотығу-қалпына келтіру реакциялары, негізінен, доғаға өтетін металл тамшыларында орын алады, сондықтан тұндырылған металл талдауы толтырғыштың талдауынан айтарлықтай ерекшеленеді. Бұл химиялық алмасулар қосылған металда қалаған мазмұнды алу үшін қоспалаушы элементтерді реттеу үшін дәнекерлеу өнімін жасау кезінде назарға алу оңай, бірақ бұл үдерістерде ешқашан оттегі құрамын төмендету мүмкін емес. Негізгі металл деңгейіне дейін балқытылған металдың құрамы (4.3-кестені қараңыз) кестеде келтірілген. Көптеген металдарда дерлік ерімейтін оттегі дәнекерленген тігістегі ұсақ дисперсті қосылыстар түрінде анықталады. Болат жағдайында біз кейінірек осы қосылыстар балқытылған металдың аустениттік айналу кезінде негізгі рөл атқаратынын көреміз.

Кесте 4.3. Кесте 4.3. Дәнекерлеу бұйымдарының үдерістері мен типтеріне байланысты болат дәнекерлеу тігістеріндегі оттегі құрамының өзгеру диапозондары

	Болат	Балқытылған металл			
		ВИГ/Плазма	MAG		ДСПЭ/ ДСФП
			Дара сым	Дәнекерлеу сымы	
О ч./млн.	15-40	20-60	250-550	300-1,100	280-1,100

Электродпен жабылған дәнекерлеу кезінде (электродпен жабылған доғалық дәнекерлеу, ДСП) балқытылған металдағы құрамы соншалықты төмен болмайтын тағы бір элемент бар: бұл - азот. Жабылған электродтардың жабындары үнемі балқу кезінде бұзылатын компоненттерден тұрады және қоршаған ауадан металл тамшыларды қорғау үшін доғалы газдардың деңгейінде генерациялайды, осылайша алынған қорғаныс ешқашан мінсіз болмайды және біз ластанудың белгілі бір мөлшерін болдырмаймыз. Үдеріс қолмен орындалатын болғандықтан, бұл ластанудың дәрежесі дәнекерлеушінің ептілігіне байланысты екені анық, олай болмаса да, кез келген жағдайда дәнекерлеу кезінде балқытылған металда 100 ч/млн азоттың болуы өте күрделі мәселе.

4.2.3 Ферритті болаттан жасалған дәнекерленген тігістердегі микроқұрылымдар: беріктік сипаттамаларымен байланыс

ТӘА сияқты балқытылған металдың механикалық қасиеттері оның құрылымы мен химиялық құрамына байланысты.

Балқытылған металдың химиялық талдауы оны негізгі металдың созылатын қасиеттерімен үйлесімді ету үшін оңай анықталса, бұл тұтқырлық тұрғысынан оңай емес. Демек, біз бұл қарапайым және арзан тест жүйелі түрде дәнекерлеуде қолданылатындықтан, біз мұнда беріктікке қатысты пікірімізбен шектелеміз.

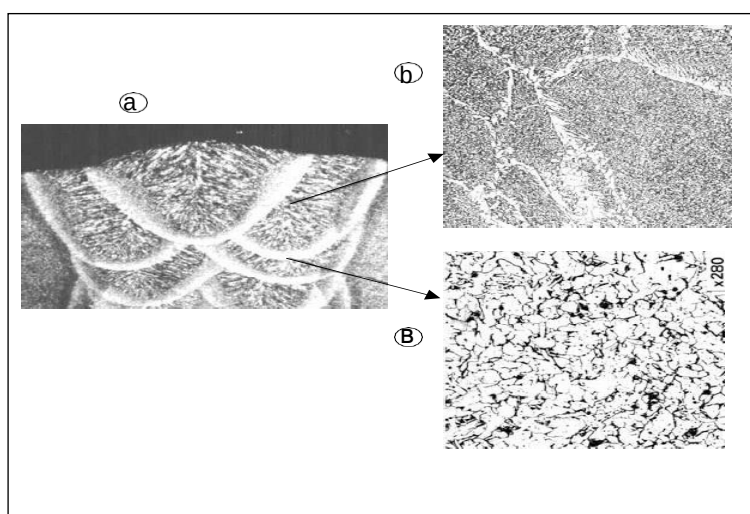
Әрдайым көп өтпелі қосылымда аймақтың екі түрін таңдауға болады (4.5-сурет): біріншісі шыныққан құрылымды сақтайды, ал екіншісі тізбекті өту кезінде «қайта сәйкестендіріледі». Осы әр түрлі аймақтардың микроқұрылымдық компоненттері көбінесе өте әртүрлі болып келеді. Қатты қоспаланған дәнекерлеу жігі жағдайын қоспағанда, переаустенизацияланған аумақтардың перлиттің аз үлесі бар феррит құрылымы болады, өйткені дәнекерлеу бұйымдарындағы көміртектің пайыздық құрамы әрдайым өте төмен.

Бұл бірдей осьтіүйіршіктіферриттік құрылымның беріктігі металлургияға жәнетүйіршіктердің жұқалығына байланысты. Осылайша, бұл аустениттік күйде жүргізілген

уақытты, салқындату жылдамдығын және аустениттің айналу температурасын анықтайтын термиялық дәнекерлеу циклінің функциясы. Бұл сондай-ақ титан, ниобий, ванадий, алюминий немесе бор сияқты элементтердің болуына байланысты. Кез келген жағдайда, бұл жылытылған конструкция, көбінесе, дәнекерлеу қосылыстарындағы беріктік мәселелерінің көзі болып табылмайды.

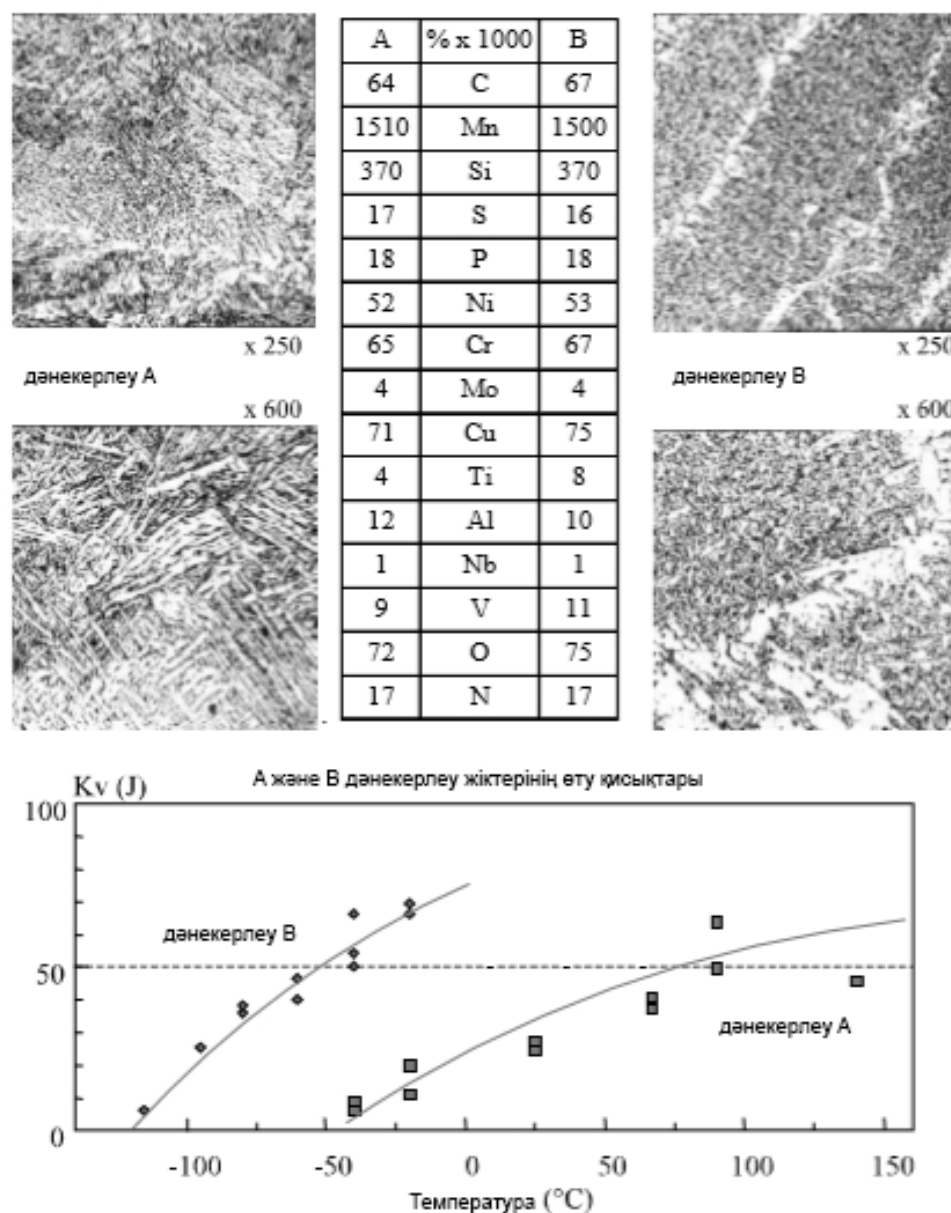
Екінші жағынан, 4.6-суретте көрсетілгендей, қатаюдан кейінгі аймақтар бір қосылыстан екіншісіне өткен кезде әр түрлі құрылымдардан тұруы мүмкін, демек, олардың беріктілік сипаттамаларының көрсеткіштерінде айтарлықтай айырмашылықтар болуы мүмкін.

Қатайту және қайта қыздыру аймақтарының арақатынасы дәнекерлеу үдерісі мен шарттарына байланысты. ВИГ көп өтпелі дәнекерленген жіктер жағдайында немесе шағын диаметрлі жабық электродтарды пайдалану кезінде білікше енінің еңсіздігі барлық балқытылған металдың қыздырылған құрылымы бар екеніне тиімді кепілдік береді. Екінші жағынан, флюс арқылы доғалық дәнекерлеулерде қатқаннан кейін ешқашан балқытылған металдың 50% - дан кем емес және тіпті екі жақты дәнекерлеу жіктері жағдайында 90% - ға жетуі мүмкін.



Сурет 4.5. Флюс арқылы доғалы дәнекерлеу: а) микрографиялық аспект; Б) қатайту аймағының микроқұрылымы; в) қыздырылған аймақтардың микроқұрылымы

Пропорция, әсіресе үлгілердің төменгі бөлігінде конструкциялардың осы екі түрінің орналасуы соққы сынауға әсер етеді. Осы сынау кезінде өлшенген бұзылу энергиясы кесік түбіндегі жарықты бастамалау үшін қажетті энергиядан тұрады және оның өтуі мен екі беттердің пайда болуы үшін қажетті энергия сомасы болып табылады. Сызаттар әр микроқұрылымға тән бастамашылықтың сыни кернеуіне қол жеткізілгеннен кейін маятниктің әсерінен басталады. Осылайша, маятник әсерінен кесіндінің түбінде пайда болатын кернеу оның ортасынан бүйіріне қарай азаяды. Сол себепті, біртекті материалда үзілу әрдайым кесіндінің ортасында басталады, ал гетерогенді материалда инициация микроқұрылым, кесіндінің ортасында орналасқан болса, шектес құрамға қарағанда, критикалық жарылу кернеуі жоғары болса көлденең бағытта жылжуы мүмкін. Осылайша, ең мортты құрылым кесу ортасымен салыстырғанда ығысқан кезде, соққы сынағы кезінде өлшенген үзілу энергиясын бастамашылық ететін құраушы, осы құрылым орталықта орналасқаннан әлдеқайда жоғары. Тарату энергиясына келер болсақ, ол әрбір микроқұрылымның өлшемі және олардың ішкі сипаттамалары екенін оңай түсінуге болады.



Сурет 4.6. Микроқұрылымның төзімділікке әсері

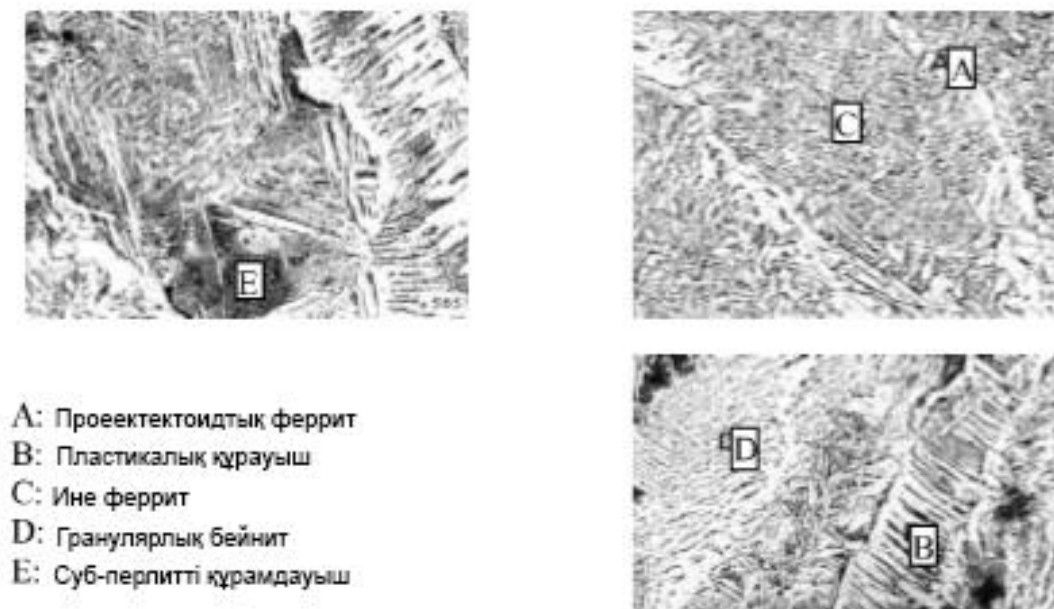
4.7-суретте қатаю аймағында болатын негізгі микрокомпоненттер көрсетілген.

IIS/IIS-999-88 құжатында Халықаралық дәнекерлеу институты неғұрлым дәл талдауды ұсынады және көп компоненттерді ажыратады, бірақ бұл маңызды емес. Барлық Металлургия беріктікті арттыру құрылымды жақсарту арқылы қол жеткізуге болатынын біледі.

Бұл жағдайда 4.7-суреттегі микро түсірілімге қарап отырып, беріктіктің ең жақсы сипаттамаларын қамтамасыз ететін қаттылығы бар аймақтар негізінен ине ферритінен жасайтынын түсінуге болады.

Бұл микрокомпонент ешқашан болаттарда пайда болмайды, тек белгілі бір қосындылардың қатысуымен балқытылған металда туындайды, олар аустениттің [ABS 78, СОС 78] айналу кезінде ферриттің ішкігранулярлық өсуін қамтамасыз етеді. Бұл қосылыстардың болуы шөгінді металдағы оттегінің құрамына байланысты екені белгілі, бірақ ферриттің ішкі аймақтық өсуі болғандықтан, балқытылған металдағы тотығу-қалпына келтіру реакцияларының нәтижесінде пайда болатын және қатаю кезінде қаланған осы күрделі қосылыстар өз бетінде жергілікті TiO TiO оксиді [STL 93] немесе $MnTi$ $MnTi_2O_4$ [BLA 99] бар болуы қажет. Титан негізгі рөл атқарады [CHA 83, EVA 97] және одан басқа, оның вариациясы (0,004-тен 0,008% - ға дейін)

4.6-суретте көрсетілгендей, А және В дәнекерленген жіктердің құрылымы мен беріктігінің мәнін сипаттайды. Алайда, қосылыс бетінде қалаулы формаларда болуы үшін кем дегенде титанның болуы жеткіліксіз. Сонымен қатар, қосылыстардың пайда болуына әкелетін реакция кинетикасы осы нәтижені алуға мүмкіндік беруі қажет. Осылайша, оттегінің мазмұнынан басқа, балқытылған металда болатын барлық қышқылдандырғыш элементтердің сипаты мен саны, олардың сымнан немесе негізгі металдан пайда болғанына қарамастан, рөл атқаратын болады [BUR 88, DEV 83].



Сурет 4.7. Қатқан күйдегі қатайған балқытылған металдың негізгі микрокомпоненттері

Бұл құбылыстардың күрделілігі, қазіргі таңда ерітілген металдың химиялық талдауын қарапайым түзілу арқылы инелі ферриттің пайда болуына қажетті микробтардың болуын болжау мүмкін емес. Тек металлографиялық сараптама бізге осы компоненттің болуын анықтауға мүмкіндік береді.

Бұл нақты қосылыстар дәнекерлеудің барлық аймақтарында жақсы беріктігінен тұратын ине ферритіне бай құрылымды алу үшін қажет (қатаю аймағын қоса алғанда). Алайда, бұл жағдай жеткіліксіз, себебі инелі феррит үлесі термиялық дәнекерлеу циклына және балқытылған металдың химиялық құрамына байланысты, ол оның шынығуын анықтайды.

Салқындату жылдамдығының әсері

Металлургияда ССТ диаграммалары аустенизациядан кейін салқындату жылдамдығына байланысты болаттың құрылымы мен қаттылығы туралы нақты түсінік алуға мүмкіндік береді. Бұл диаграммалар әрбір болат және әрбір аустениттік жағдай үшін ерекше болып табылады (аустениттік астықтың мөлшері).

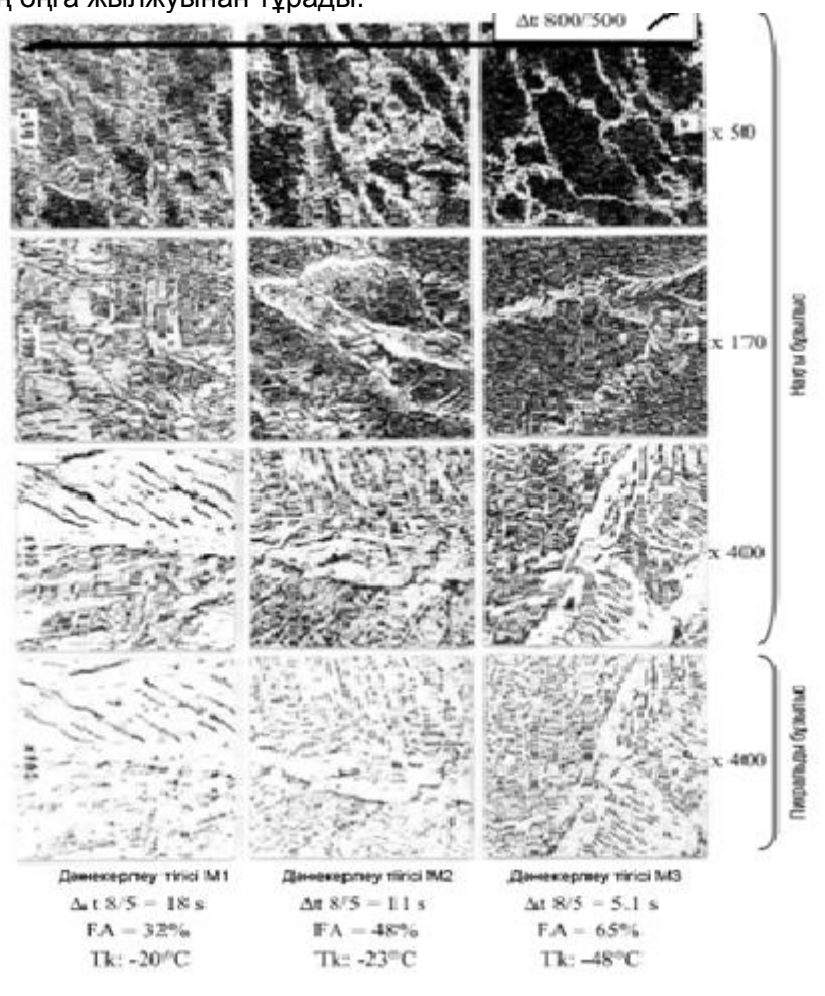
(Δt 800/500 немесе Δt 700/300) аустенизация жағдайларының өзгеруімен қатар жүреді, бірақ осы екі фактор арасында ешқандай корреляция жоқ: дәнекерлеу энергиясының артуы, алдын ала қыздыру температурасы, жинақтауға жататын бөлшектердің қалыңдығы немесе дәнекерлеудің әр түрлі үдерістерін жүзеге асыру жоғары (аустениттік өріс) және термиялық циклдің төменгі бөліктері (трансформация өрісі) үшін ұқсас салдарлар жоқ.

Кез келген жағдайда, қажетті қосылыстар бар болса, салқындатқыш жылдамдығын арттыру, кем дегенде, бастапқыда, инелі феррит үлесін арттыруға әкеледі және беріктіктің жақсаруымен бірге жүреді [ANT 81] (4.8 суретті қараңыз). Екіншіден, қосымша шындалған құрылымдар (төменгі бейнит және/немесе мартенсит) балқытылған металдың қызуы жоғары болса, анықталуы мүмкін.

Қоспаланған элементтердің әсері

Қоспаланған элементтерді болатқа қосу оның шынығуын арттырады, өсу кезінде

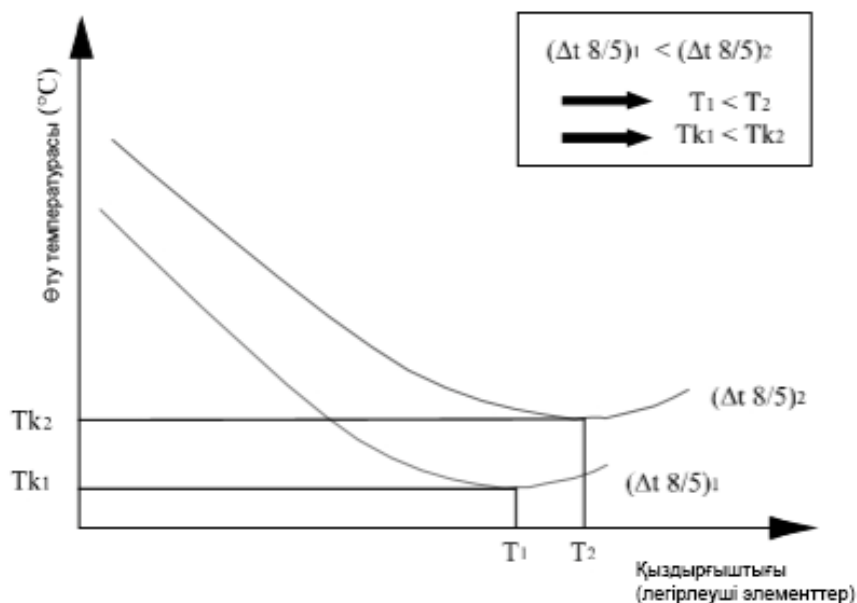
болатын түрленуді кідіртеді, және мартенситті айналу басталатын температураны төмендетеді (M_s). Егер CCT диаграммасын қарастырсақ, осы қосымшалардың негізгі әсері диаграмма қисығының оңға жылжуынан тұрады.



Сурет 4.8. Термиялық циклдің құрылымы мен температуралық ауысу әсері-балқытылған металды талдау: 0,066% C; 0,94% Mn; 0,62% Si; [BON 80]

Бұл балқытылған металл үшін бірдей дерлік, қоспалаушы элементтерді қосу есебінен айналу баяулауы инелі феррит түзілуінен гөрі «дәстүрлі» айналуларға ықпал етеді. Аустенит инелі ферритке айналатын өрістің болуы үшін бұрын болған микробтардың рөлін атқаратын белгілі бір қосылыстар болуы керек. Содан кейін легірлеуші элементтерді қосу инелі ферриттің өсу жылдамдығына яғни тек оның өсуіне әсер етуі мүмкін.

Осылайша, салқындатудың тұрақты жылдамдығы кезінде қоспаланған элементтерді қосу тұрақты химиялық құрамда салқындату жылдамдығының артуына әкелетін ұқсас микроқұрылымдағы эволюцияны тудырады: бастапқыда, кем дегенде, инелі феррит үлесі оның қалыптасуының алдында айтарлықтай баяулауы салдарынан ұлғаяды; содан кейін инелі феррит дәндері тазартылады, нәтижесінде, олар мартенситтің және/немесе төменгі бейниттің ұлғаятын үлесімен біртіндеп ауыстырылады.



Сурет 4.9. Балқытылған металдың өтпелі температурасына қоспаланған элементтердің және салқындату жылдамдығының әсері

Механикалық қасиеттер тұрғысынан салқындату жылдамдығын арттыру және қоспалаушы элементтерді қосу толық эквивалентті болып табылмайды. Микро құрылым бойынша көп мөлшерде қоспаланған элементтердің болуы қатты ерітіндінің әсерінің арқасында, үзілуге беріктіктің артуы, ағымдылық шегі мен қаттылық, сондай-ақ беріктік мәндерінің төмендеуіне әкеп соқтырады.

Содан кейін салқындату жылдамдығы мен химиялық құрамның беріктілік сипаттамасына әсерін келесі түрде қосуға болады (4.9-суретті қараңыз.):

- легірілеуші элементтің құрамы төмен (шынығыуы төмен) кезде, біз негізінен проэвтектоидты феррит пен пластиналы компоненттен тұратын қатайған қатаң құрылымды аламыз. Бұл жағдайда беріктігі салқындату жылдамдығына қарамастан нашарлайды (жоғары өту температурасы);

- легірілеуші заттың (Mn, Mo және т.б.) құрамы ұлғайған кезде, егер қолайлы қосылыстар болса, инелі феррит үлесі ұлғаяды, оның дәндері ұсақ болады, ал тұтқырлығы айтарлықтай жақсарады;

- егер легірілеуші элементтердің құрамы T_1 үшін $(\Delta t \ 8/5)_1$ немесе T_2 үшін $(\Delta t \ 8/5)_2$ артық болса, беріктілік мәндерінің нашарлауы байқалады, себебі легірілеуші элементтердің санының ұлғаюына байланысты қатты ерітіндінің әсері есебінен беріктіктің теріс әсері инелі ферриттің саны мен ірілігінің ұлғаюына байланысты оң әсерге қарағанда жоғары болады;

- 4.9-суретте екі қисықты салыстыру салқындатқыш жылдамдықтың артуы $(\Delta t \ 8/5)_1$ салыстырғанда $(\Delta t \ 8/5)_2$ әрқашан беріктікті жақсартады.

Инелі феррит пайда болу үшін қажетті қосылыстар болмағанда, алдымен түйіршікті бейнит, содан кейін төменгі бейнит пайда болады. Бұл құрылымдық өзгерістер, сондай-ақ беріктілік мәндерінің белгілі бір жақсаруымен қатар жүреді, бірақ олар ине ферриті бар құрылымға қарағанда айтарлықтай төмен қалады.

Оттегі құрамының әсері

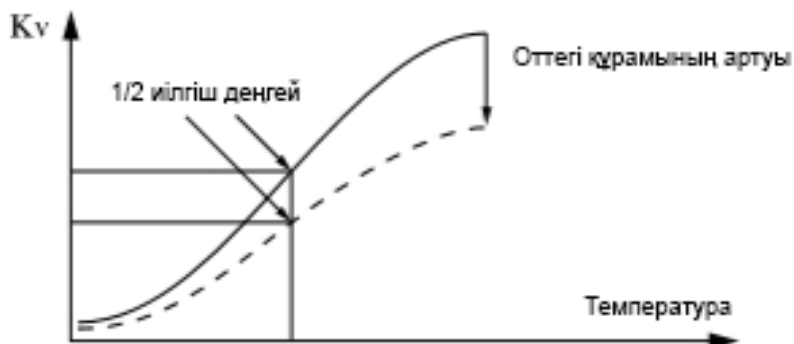
Ферритті болаттан жасалған дәнекерленген тігістерде аустениттің инелі ферритке айналуы мүмкін болатын оттегінің ең аз мөлшері қажет. Мұндай минималдық құрамы басқа да қышқылдандырғыштарға атап айтқанда, алюминий құрамына байланысты артады. Бұл алюминий құрамы 0,015% - дан төмен болғанда миллионға қатысты 250 бөлікті құрайды; ол алюминий құрамы 0,035-тен 0,040% - ға дейін болғанда 350-400 ч/млн-ға жетуі мүмкін.

Өйткені, бұл минимумға қол жеткізілмеді, нашар беріктікке плазма, электрондық сәуле және лазер сияқты энергияның жоғары тығыздығы бар үдерістердің көмегімен орындалатын феррит болатты дәнекерлеу кезінде төмен температурада қол жеткізіледі.

Оттегінің құрамы қосу жылдамдығына белгілі бір нұсқау береді және бұл жылдамдық

пластикалық үзілу энергиясына тікелей әсер етеді: басқа тең жағдайларда қосу жылдамдығын арттыру пластикалық үзілу энергиясының азаюына әкеледі (4.10-сурет).

Осылайша, қажетті созылу сипаттамалары инелі феррит құрылымы үшін қол жетімді (<650 немесе 700 МПа), өйткені созылу мен тұтқырлықтың арасындағы ең жақсы нәтижеге қол жеткізетіндіктен, феррит болаттан жасалған дәнекерленген жіктер үшін оңтайлы оттегі параметрінен тұрады. Сонымен бірге төмен бейнит немесе мартенсит құрылымдарын алу керек, сондай-ақ қосу жылдамдығын азайту үшін оттегінің құрамын барынша азайтуға ұмтылу керек. Бұл сондай-ақ аустенитті тот баспайтын болаттан жасалған дәнекерленген тігістерге немесе жалпы жағдайда пластикалық/нәзік өтпені білдірмейтін түйіршіктелген текше материалдарға жатады.



Сурет 4.10. Шарпи-V өтпелі қисыққа оттегі құрамының әсері

Азот, ниобий және ванадий әсері

Феррит болаттарында азот үш металлургиялық құбылыспен байланысты болуы мүмкін:

- қатты ерітіндінің әсері: Темірдің текше орталығы бар торда аралық жағдайдағы азот атомдары беріктіктің азаюына байланысты беріктілік пен қаттылық сипаттамаларының ұлғаюына әкеп соқтыратын кристалды тордың үлкен бұрмалануын туындатады. Бұл азоттың еркін атомдарына қосылады;

- тұндыру кезінде қатайту: бұл қатайту азотқа (атап айтқанда, ниобий және ванадий) қатты жақын элементтердің нитридтері немесе карбонитридтері когерентті тұндыру нәтижесінде болады. Бұл тұнба негізінен 400-650°C температура диапазонында болады;

- қажу: бұл кристалдық ақауларға енгізудің қатты ерітіндісінде азот атомдарының диффузиясына байланысты болады, бұл дислокациялық ығысу мүмкіндігін қатты шектейді.

Содан кейін серпімділік шегінің өсуі байқалады, ал беріктігі төмендейді. Бұл құбылыс тек төменгі температураларда пайда болады (қоршаған орта температурасы/250 °C).

Бұл болаттарды дәнекерлеу кезінде азот құрамының ұлғаюы көп өтпелі дәнекерлеудің барлық аймақтарында беріктікке теріс әсер етеді, яғни ине ферриті жоғары қатты құрылымы бар соңғы өткелде ғана емес, сондай-ақ кіші түйіршіктері бар және қатып қалған құрылымнан тұратын, бірақ $A_{с1}$ -ден төмен мәндерге дейін қыздырылған, реаустенитизация аймақтарында кейінгі өткелдерді орындау кезінде әсер етеді [BON 86]. Осы соңғы аймақтарда дәнекерлеу ниобий аздаған мөлшерде болған кезде немесе ванадийдің мөлшері көп болса, азоттың құрамынан тұратын өту температурасының артуы байқалады.

Ниобий мен ванадий өте сирек дәнекерлеу бұйымдарына өз еркімен қосылады, бірақ олар ТМСР (термомеханикалық бақылау өңдеу) болат өндіру үшін қажет, сондай-ақ кейбір шыңдалған болаттарда кездеседі. Сұйылту әсерінің көмегімен олардың кейбірі балқытылған металдан, атап айтқанда, олар азоттың құрамын арттыру кезінде анағұрлым маңызды болатын беріктілік мәндерінің төмендеуін туындататын түбірлік өткелдерде табылатын болады. Ол ниобий карбо-нитридтерге және ванадий нитридіне толық шөгуге мүмкіндік береді, өйткені құрастыру кезекті дәнекерлеу жүктемелі өңдеуден өтуі тиіс болса, бұл морттану одан да айқын болады.

Титан/бор әсері

Бұл әсер өте аз мөлшерде бордың (көбінесе миллионға 20-дан 60 бөлікке дейін)

болуына байланысты, ол дәнекерленген тігісті салқындату кезінде аустениттік дәндердің шекарасында проэвтектоидты ферриттің пайда болуын едәуір кідіртеді. Осылайша, аустениттің түрленуі негізінен инелі ферриттің қосындылардағы түйіршікті өсуінің нәтижесінде болуы мүмкін, олар қажетті сипаттамалары бар титан оксиді бетінің аймағында болған жағдайда орындалады. Балқытылған металдың барлық химиялық талдауы марганец және никель тұрғысынан жақсы теңдестірілген кезде, оның қызуы дәнекерлеу жігіне ұшырайтын термиялық цикл үшін оңтайлы болып табылады, проэвтектоидты ферриттер желісі жұқа жиектеуге түседі, қалған бөлігі аустенит инелі ферритке айналады. Сонымен қатар, егер молибденді қосу қажет болса, 550 немесе 600 МПа асатын ағымдылық шегі талап етілетін жағдай болып табылады, осылайша проэвтектоидты жоюға мүмкіндік беретін бор-молибден синергетикалық әсеріне қол жеткізіледі. Феррит желісі толығымен және беріктігі жоғары ине ферриттен тұратын құрылымды алу үшін қажет. Нәтижесінде, титан мен бордың әсері қатты қатаю құрылымы бар аймақтарда инелі феррит үлесінің ұлғаюымен шектелмейді, ол сондай-ақ реаустенизацияланған аймақтарда феррит дәндерінің ұсақталуын тудырады (4.11-суретті қараңыз).

Осылайша, титан-бор әсерін пайдалану барлық дәнекерлеу аймақтарындағы беріктілік мәндерінің елеулі жақсаруына және осы әр түрлі аймақтардағы қасиеттердің жақсы біртектілігіне қол жеткізуге мүмкіндік береді. Дегенмен, бұл оң нәтижелер азот құрамы төмен және жақсы бақыланатын жағдайда ғана алынады. Міне, сондықтан бұл әсер алғашында флюс арқылы көпэлектродты дәнекерлеу әдісімен үлкен құбырларды дайындау үшін тұндырғыш бұйымдарда іске асырылды.

Содан кейін ол толтырылған рутил сымында пайдаланылды, бұл өнімге артықшылық берді, өйткені ол ең қатаң металлургиялық ерекшеліктерге сәйкес болды. Екінші жағынан, ол жабық электродтарда пайдаланылмайды, өйткені бұл үдеріс қосылатын металдағы азот құрамын жеткілікті дәрежеде бақылауға мүмкіндік бермейді.

4.3 Дәнекерлеудің негізгі ақаулары

Біз жыралар, жеткіліксіз ену, жабысу және т.б. сияқты эксплуатациялық сипаттағы ақаулармен жұмыс істемейміз; біз тек ішкі ақауларды қарастырамыз, яғни ыстық жарықтар, суық жарықтар, қызатын жарықтар мен кеуектіктер.

Біз осы құбылыстарды сәйкестендіруге мүмкіндік беретін критерийлерді анықтауға және оларды болдырмау үшін қабылдауға тиісті сақтық шараларын немесе мәселелер туындаған кезде оларды жою тәсілдерін шығару үшін қалыптастыру тетіктерін көрсетуге тырысамыз.

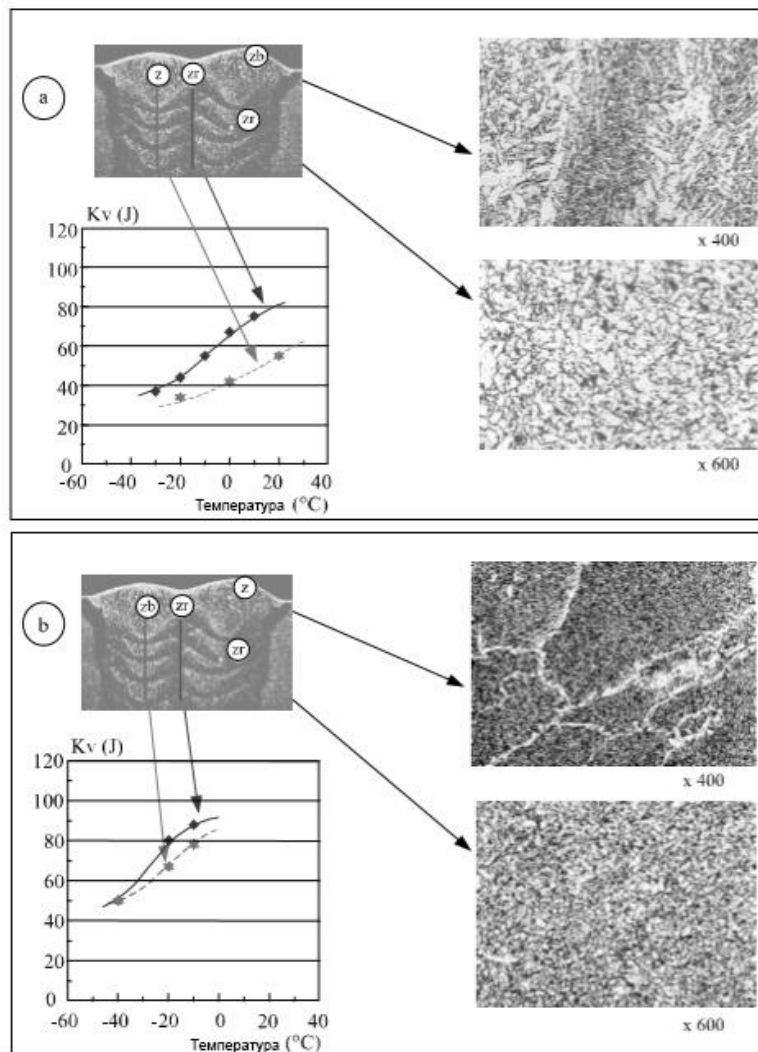
4.3.1 Ыстық жарылу

Бұл термин арқылы біз жоғары температурада жеткіліксіз икемділік нәтижесінде пайда болатын қатаю жарықтарын, ликвация жарықтарын және жарықтарды түсінеміз.

Қатаю сызаттары

Олар қатаю соңында пайда болады. Олар ішкі немесе беттік қабатта пайда болуы мүмкін, бірақ олар әрдайым дендрит аралық кеңістіктерде орналасқан, демек, қатаю бағыттарын басшылыққа алады. Осылайша, олар кез келген нүктеде изотермаларға перпендикуляр. Олар жоғары температурада пайда болғандықтан, ауамен байланыста болады, беттік қабатқа шыққан кезде тотығады. Нәтижесінде, олар салқындату кезінде қоршаған металда азаю салдарынан әрқашан кең болып табылады.

Ыстық жаруға әсер ететін факторлар жартылай балқытылған металдың талдауына және жартылай дәнекерлеу процедурасына байланысты (4.4-кестені қараңыз).



Сурет 4.11. а) Ti-B әсері жоқ рутилді сым; б) жоғарыда келтірілген бор қосылған формула. Өту осінде (zb) және пресс-форманың осінде (zr) орналасқан соққыларды сынау



Сурет 4.12. Қатаю жарықтарын оқшаулау

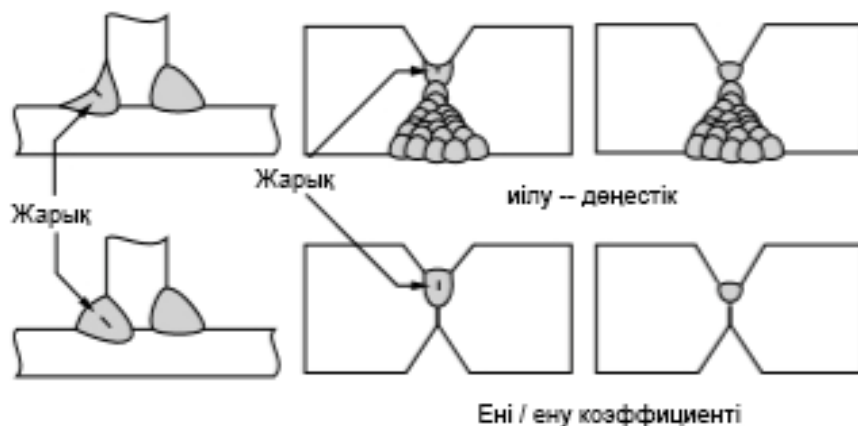
Қатаюдың ұзақ кезеңі және төмен балқу температурасы бар компоненттердің болуы қатты және сұйық фазалар температураның кең ауқымында қатар қолданылатынын білдіреді. Осы саладағы салқындату кезінде сұйықтық қысу кезінде қатты затқа айналады (қату кезіндегі көлемнің өзгеруі), ал қатты зат өз кеңейту коэффициентіне сәйкес қалыптасты. Қатаю уақыты ұзағырақ болған сайын, қатаю соңында жеткіліксіз материалдың қаупі және соңғысының қатқан аймақтарда яғни дендрид аралық кеңістіктерде жарықтың пайда болу қаупі соғұрлым жоғары екені анық.

Кесте 4.4. Қатаю кезінде жарылуға әкелетін факторлар

Материалға қатысты факторлар	Жұмысжәнедәнекерлеуүдерістерінеқ атыстыфакторлар
Ұзақ қатаю	Дәнекерленген жіктің белгілі бір нысандары (иілген беті, ені/тереңдігі <0,7)
Төмен балқу температурасын құраушылар	Жоғары дәнекерлеу жылдамдығы
Серпімділікшегіжоғарынегізгіметалл	Қатты қысу

Негізгі металдың ағымдылық шегінің әсері және жинақтауға жататын бөлшектердің қысылуы әртүрлі сипатқа ие. Балқытылған аймақ салқындағанда, ол қысылады, егер шөгінді еркін орын алмаса, кернеу пайда болады. Бұл шөгінді кернеулер салқындату үдерісінде балқытылған металға әсер етеді, оны бұрмалайды, ол жағдайға байланысты шыдай алады немесе керісінше. Жинақтың деформациясын шектейтін ішкі немесе сыртқы қысым неғұрлым көп болса, соғұрлым кернеу артады.

Дәнекерлеу тігістерінің формасы мен дәнекерлеу жылдамдығы жиі бағаланбаған болса да әсері үлкен. Соңында қатаятын аймақ сұйық фазада олардың басылуына байланысты қоспаларды шоғырландырады. Бұл жарықтардың пайда болу қаупіне химиялық аса сезімтал етеді, және дәнекерленген тігістің беті қисық болған кезде, бұл аймақ, сондай-ақ оның көлденең қимасында аз болады. Осылайша, шөгінді кернеулер дөңес бетке қарағанда жарықтың пайда болуына әкелуі мүмкін (4.13-сурет). Осылайша, моншақ терең еніп (ені мен енудің төмен қатынасы), оның шеттері параллель болған жағдайда, қатаюдың соңғы сатысы оның барлық биіктігіне әсер етеді (орталық бағана); екінші жағынан, үшбұрыш пішіні білікше бетінде қатаю қаупін төмендетеді. Нәтижесінде, дәнекерлеу жылдамдығының төмендеуі, демек, қату жылдамдығы қалған сұйықтықты сұйық және қатты фазаға байланысты көлемнің азаюы есебінен дендрид аралық кеңістіктер арасында жасалған аралықтарды толтыруды жеңілдетеді; осылайша, жарықтардың пайда болу қаупі төмендейді.



Сурет 4.13. Дәнекерленген жіктер пішінінің қатаю сызаттарына әсері

Бұл тұжырымдамалар жалпы сипатқа ие және материалдардың барлық түрлеріне қолданылады, бірақ қатаюдың ұзақ кезеңі немесе балқу температурасы төмен компоненттердің болуы жарылу қаупін нашарлататындықтан, оның сипаттамасын жиі білмейтін материалдарды пайдаланатын дәнекерлеуші үшін іс жүзінде жарамсыз. Материалдың химиялық талдауын пайдалана отырып, осы қауіптерді ескеру – оның мүддесі болып табылады.

Жұмсақ және аз қоспалы болаттар жағдайында Бейли [BAI 78] факторлы тәжірибе арқылы балқытылған металды талдай отырып, флюспен доғалық дәнекерлеу арқылы қатаю кезінде сызаттардың пайда болуына бейімділігін сипаттайтын UCS параметрін (жарықтарға сезімталдық бірліктері) шығарды:

$$UCS = 230C * + 190S + 75P + 45 Nb - 12.3Si - 5.4Mn - 1$$

with $C^* = 0.08$ if $C < 0.08\%$ and $C^* = C$ if $C > 0.08\%$.

Ол келесі мәндер үшін оның жарамдылығын көрсетті: C <0,23%; S 0,010-0,050%; P 0,010-0,045%; Si 0,15-0,65%; Mn 0,45-1,6%; Nb <0,07%; Ni <1%; Cr <0,5%; Mo <0,4%; V <0,07%; Cu <0,3%; Ti <0,02%; Al <0,03%; B <0,002%; Pb <0,01%; Co <0,03%. Кейінірек [BAI 94] ол өз мәндерінен жоғары хромның, молибденнің немесе ванадийдің қатаю кезінде сызаттардың пайда болу қаупін төмендететінін, ал никель мен бордың мөлшерін арттыру теріс әсер ететіндігін дәлелдеді.

Алайда, ол сондай-ақ бордың зиянды әсері тек 0,01%-дан жоғары мәндер үшін көрсетілгенін мәлімдеді. Осы құжатта автор UCS параметрі 10-дан төмен және өте үлкен болғанда, егер ол 30-дан жоғары болса, 20 мәні бірінші жарияланымға бұрыштық дәнекерленген жіктерді орындау кезінде жарықтардың пайда болу шегіне сәйкес келеді деп есептейді.

Бұл формуладан көміртегі 0,08% - ға дейін әсер етпейді, бірақ осы мәннен тыс, яғни қатаю қайта сәулетті реакцияны қамтитын сәттен бастап ең зиянды элемент болып табылады. Бұл аустениттегі күкірт пен фосфордың ерігіштігі ферритке қарағанда әлдеқайда төмен, сондықтан перитектикалық реакцияның пайда болуы осы элементтердің сегрегациясының ұлғаюына әкеледі, сол арқылы балқу температурасы төмен, демек, жарылу қаупі бар дендрит аралық пленкалардың пайда болуына ықпал етеді.

Бұл параметрде рөл атқаратын элементтің коэффициенттері флюс арқылы дәнекерлеуге ұшырайды. Олар тұтасымен басқа үдерістерге қолданылмайды, атап айтқанда, жарылуына әсер ететін басқа факторлар (білікше геометриясы, дәнекерлеу жылдамдығы) бір дәнекерлеу үдерісінен екіншісіне қатысты қатты ерекшеленеді. Дегенмен, теріс немесе оң әсері бар химиялық элементтер бұрынғыдай қалады. C-Mn немесе төмен қоспаланған болаттан жасалған дәнекерленген тігісте қатаю кезінде жарылу мәселесіне тап бола отырып, C, S, P және Nb элементтерінің құрамын азайту және балқытылған металдағы Mn және S құрамын арттыру әрқашан тиімді болады. Қосымша өнімді дұрыс таңдау Mn және Si құрамының өсуіне ықпал етуі мүмкін, бірақ зиянды элементтерге әсер етпейді, себебі бұл элементтер дәнекерлеу бұйымдарында қатты айрықшаланады. Іс жүзінде, егер олардың балқытылған металдағы концентрациясы жол берілмейтін деңгейде болса, олар негізгі металдың сұйылуынан орын алады. Содан кейін араластырылуды барынша азайтуға мүмкіндік беретін процедураны енгізу қажет болады және төтенше жағдайларда қосылуға жататын беттерді алдын ала майлауды талап етеді.

Аустенитті тот баспайтын болаттар жағдайында қатаю қаупі осы уақытта тартылған фазалармен тығыз байланысты. Олардың химиялық құрамына байланысты аустенитті тот баспайтын болаттан жасалған дәнекерленген тігістер аустениттегі немесе бастапқы аустениттегі, содан кейін ферритте немесе бастапқы ферритте, содан кейін аустениттегі немесе ақырында, толық ферритте толық қатая алады.

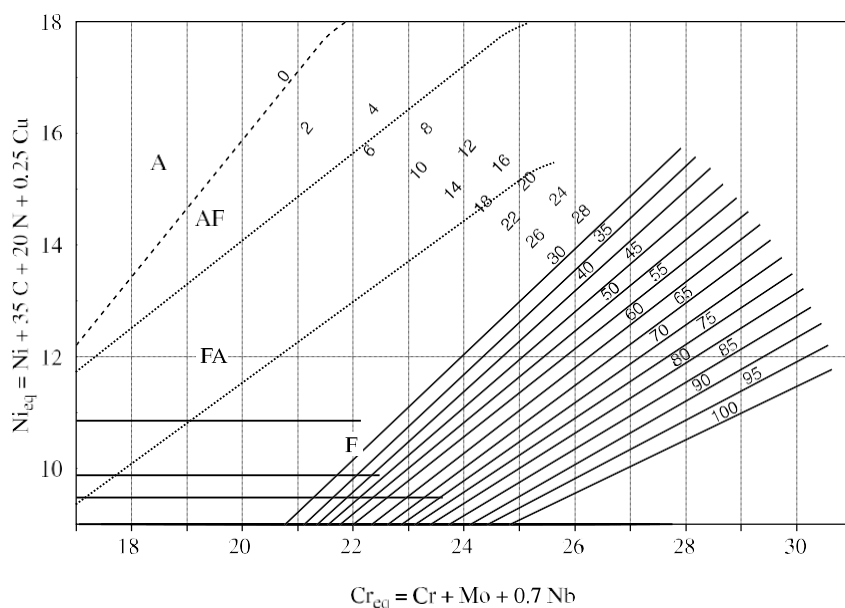
Алайда, күкірт және фосфор сияқты қоспалардың ерігіштігі аустениттен гөрі ферритте әлдеқайда жоғары болғаны анықталды және бұл элементтердің сегрегациясы төмен балқу температурасында дендрит аралық үлдірдің пайда болуына әкелуі мүмкін. Егер аустенитті тот баспайтын болаттардың жарылуына сезімталдыққа қатысты көптеген зерттеулердің нәтижелері [KOT 93] қатаю режиміне сәйкес жіктелсе, таза аустенитті режимнен бастапқы аустенит режиміне, содан кейін толық феррит режиміне және нәтижесінде бастапқы феррит режиміне көшу кезінде кедергінің артуы байқалады.

Толық феррит модасымен салыстырғанда бастапқы феррит модасының үлкен кедергісі аралас қатайтатын феррит + аустенит бөлім шекараларының үлкен ұзындығын генерациялайды және, осылайша сегрегацияны барынша азайтуға байланысты болуы мүмкін.

Альфа-геннің (хромның баламасы) және гамма-геннің (никельдің баламасы) элементтерінің құрамына сәйкес қосылған шөгінді металдың құрылымын болжау үшін көптеген диаграммалар бар, олардың ішінде бірінші және ең танымалы Шеффлермен 50 жыл бұрын орнатылғаны болып табылады [SCH 49]. Алайда, бұл диаграммалардың көпшілігі бөлме температурасына дейін салқындатылғаннан кейін дәнекерленген металдың құрылымын көрсетеді, және бұл құрылым қатаю кезінде болған қатаюдан қатты өзгеше болуы мүмкін, себебі салқындату кезінде феррит аустенитке қарай кері ауысады. Суутала

[SUU 83] қатаю режимін болжау үшін диаграмманы ұсынды, онда ол бастапқы аустениттегі және бастапқы ферриттегі қатаю аймағын ажыратады. Алайда, біздің пікірімізше, қазіргі болаттар үшін анағұрлым ақпараттандырылған және неғұрлым бейімделген сұлба ДРК-92 болып табылады (4.14-суретті қараңыз), өйткені ол қатаюдың төрт режиміне сәйкес келетін аймақтарды бөліп көрсетеді, сондай-ақ феррит санының терминдерінде айқын көрініс береді, феррит салқындағаннан кейін құрамын береді.

Диаграммдан А, AF, FA немесе F өрістерінде талданатын нүктенің жағдайына сәйкес дәнекерлеу тігісінің жарылуына сезімталдығын бағалауға болады; бұл талдау негізгі металды, салынған металды және сұйылудың болжамды дәрежесін талдаудан басталатын өлшеу немесе бағалау нәтижесі болуы мүмкін. Бұл диаграммада 4-тен артық феррит саны көп жағдайда FA (ең тұрақты) немесе F аймағында қатайтатын дәнекерленген тігістерге сәйкес келеді. Егер репрезентативті нүкте қауіп аймағында болса (А немесе AF, немесе FN <4), техникалық шарттар бұған тыйым салмаса, олар FA немесе F өрістеріне түсетіндей қондырма өнімін таңдауды немесе дәнекерлеу процедурасын (сұйылту дәрежесі) өзгертуге өте пайдалы болады.



Сурет 4.14. ВКР-92сұлбасы; [КОТ 92]

Ликвациялық жарықтар

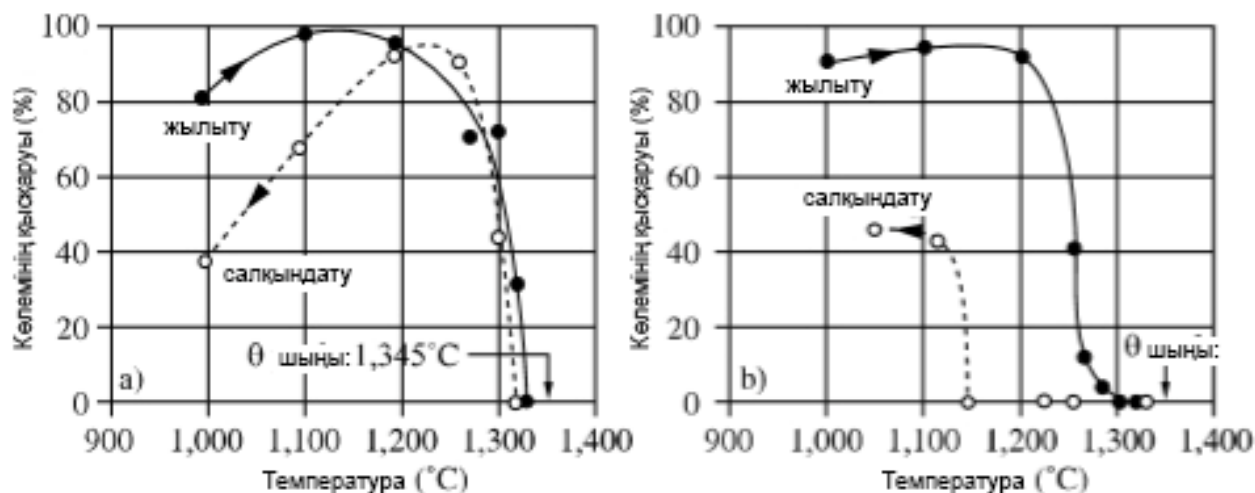
Ликвациялық жарықтар негізінен ілінісу аймағына жақын негізгі металдың ТӨА-да болады. Олар сондай-ақ көп кеш өту жолымен термиялық реактивациялау кезінде балқытылған металда пайда болуы мүмкін, бірақ бұл жағдайда көбінесе қазіргі уақытта өндірілетін өтпедегі қатаю сызаттары түрінде жалғаса береді. Олар материалдың қату аралығына сәйкес келетін температураға дейін жеткізілген ТӨА бөлігінде оқшауланады және бұл кезең балқу температурасы төмен кезде компоненттердің түзілуін қолдайтын элементтер материалының микросегрегацияларындағы құрамы көп болған сайын соғұрлым жоғары болады. Салқындатумен байланысты шөгудің әсері кезінде, бұл ішінара бірігу аймақтары ТӨА ішінде тереңірек таралуына қарағанда жарықтарды үлкен ықтималдықпен сынайтын болады. Бұл механизмнің түрі қалыпталған бұйымдарды дәнекерлеу кезінде жиі кездеседі; бұл балқытылған металдағы қатаю сызаттарының пайда болу механизміне өте жақын.

Ликвациялық жарықтардың пайда болуының басқа себебі матрицада еріту үдерісінің фазасы айналасында эвтектиканың туындауы болып табылады.

Бұл бөлме температурасында тұрақты термодинамикалық фаза жоғары температурада тұрақсыз және оның ерітіндіге қайтарылуы мүмкін емес немесе оның химиялық біртектілігі еру кинетикасына және диффузияға қатысты термиялық дәнекерлеу циклдарының жылдамдығына байланысты қол жеткізілген кезде орындалуы мүмкін. Бұл жағдайда сұйық фаза ТӨА ішінде пайда болады және айналадағы түйіршіктердің

шекаралары арқылы өтеді, бұл олардың сілтісізденуіне және шөгуден суыту кезінде жарылуына әкеп соғады.

Кез келген материалдың сұйық күйдегі жарылуына сезімталдығын қыздыру фазасы мен салқындату фазасы кезінде термиялық дәнекерлеу циклін модельдеу арқылы жүргізілген ыстық күйдегі созылу сынақтарының көмегімен бағалауға болады (4.15-суретті қараңыз). Бұл сынау үзілу алаңының азаюы қыздырғаннан кейін нөлге тең болатын температура мен суыту кезінде деформацияға белгілі бір қасиетті қалпына келтіру арқылы температура арасындағы айырмашылықты анықтауға мүмкіндік береді. Айырмашылық көп болған сайын, материалдың сезімталдығы арта түседі.



Сурет 4.15. (а) 2 ч / млн бор немесе (б) 30 ч/млн тұратын Sabot 214 ыстық пластикалық қорытпа; [CIE 93]

Осылайша, сұйықтықтың жарылуына сезімталдығы материалдың ажырамас сипаттамасы болып табылады; бұл барлық химиялық элементтерге, олардың таралуына және микроқұрылымдарына, дәнекерлеу үдерісіне байланысты, егер негізгі металға қарағанда балку температурасы айтарлықтай төмен (дәнекерлеу арқылы жасалған қорытпа) тән өнім пайдаланылмаса, нәтижеге аз әсер етеді.

Ыстық икемділіктің болмауына байланысты сызаттар

Сұйық күйден суыту кезінде көптеген өнеркәсіптік қорытпалар температуралық диапазонға ие болады, мұнда деформация үшін жауапкершілік екі жағынан температураға қарағанда айтарлықтай төмен. 4.15а-суретінде салқындату қисығы мұндай әрекетті болжауға мүмкіндік береді.

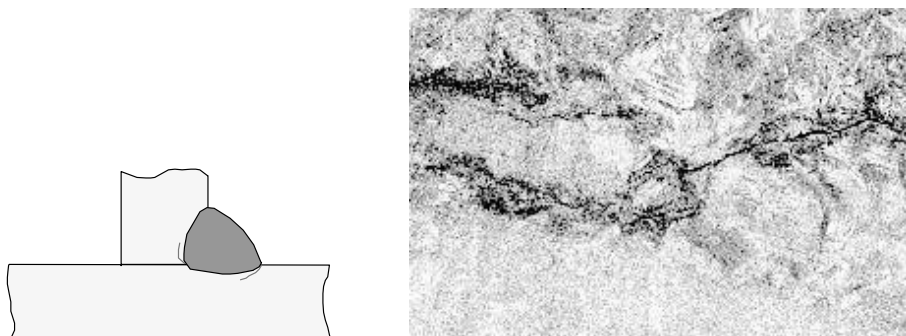
Мұндай иілгіштіктің төмендеуі деформация жылдамдығы төмен, қорытпаның рекристаллизация температурасына жақын. Бұл [HEM 69] дәнекерленген тігісті салқындатудан туындаған шөгу салдарынан ТӨА-да, балқытылған металда да түйіршік аралық жарықтардың пайда болуына себеп болуы мүмкін, бірақ бұл жарылу түрі феррит болаттар жағдайында сирек кездеседі. Алайда, кейбір авторлар [LIM 96] бұл болаттарда түйіршік аралық жарықтар сутегімен туындаған трансгранулярлы жарықтарды толық суытқаннан кейін жалғасуы мүмкін және шырша бойынша жарықтар пайда болуы мүмкін деп есептейді (келесі бөлімді қараңыз).

Бұл мәселе бойынша библиография түсіндірмеден гөрі сипаттамалық болып табылады; дегенмен, күкірт әлі де бұл құбылысты күшейтеді.

4.3.2 Суық жарылу

Бұл жарықтар төмен температураларда пайда болады (200°C төмен). Олардың мінсіз және тотыққан беті жоқ. Олар микроқұрылыммен салыстырғанда белгілі бір бағдарға ие болмайды. Олар әдетте ТӨА-да дамиды, бірақ кейде өте жоғары серпімділік шегі болған кезде балқытылған металда пайда болуы мүмкін. Олар шоғырлану аймағында пайда

болуын түсіндіретін кернеу өрісінен туындайды, олар беттің ақаулары (нашар сулау, жыралар) немесе құрастыру конструкциясымен байланысты үзіктер (мысалы, ішінара ену) болып табылады.



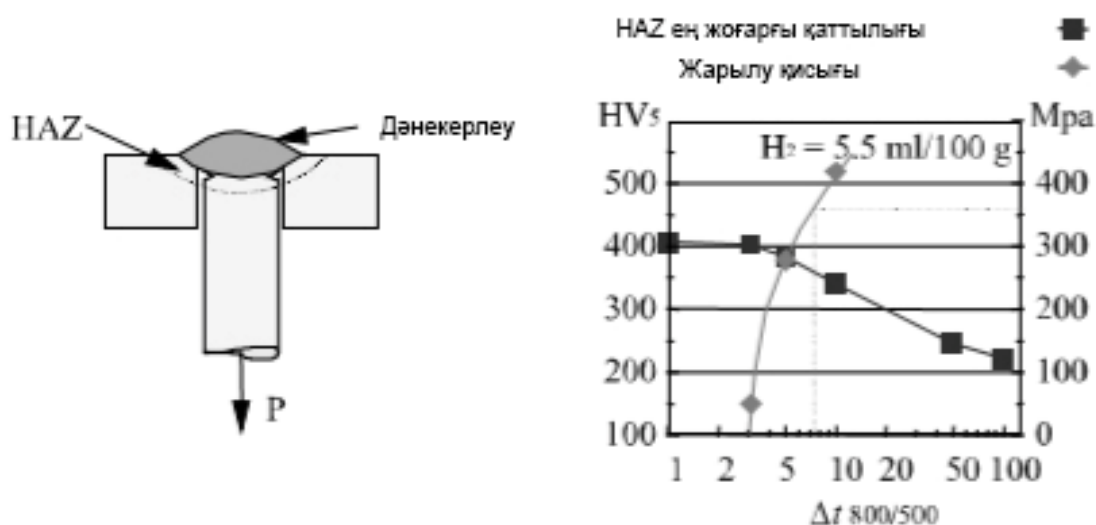
Сурет 4.16. Суық крекинг үлгісі

Бұл сызаттар үш факторлардың комбинациясын талап етеді:

- құрылымы аса пластикалық емес(мартенсит),
- кернеу,
- сутегі.

Осы үш факторлардың тиісті әсері имплантаттарды сынау арқылы нақтырақ атап көрсетіледі. Осы сынақтарды жүргізу үшін қарастырылатын материалы бар баллондар іріктеледі. Белгілі бір геометрияны кесу ұштардыңбіреуімен өңделеді. Шыбықты тіреу тақтасына орналастырады(4.17-суретті қараңыз), содан кейін дәнекерлеу жігін шыбықты алу дәнекерлеу жігінің ТӨА-да болатындай етіп жасайды. Суыту кезінде жүктеме өзектің басқа ұшына салынады және бірнеше күн бойы сақталады. Содан кейін үлгі кесіктің соңында сызаттар пайда болуын анықтау үшін кесіледі.

Сынауды кесу негізінде ең аз жарылатын конструкцияны бағалау үшін түрлі жүктемелерді қолдана отырып қайталайды. Бұл дәнекерлеу шарттарын өзгерту арқылы қайталанады, Δt 800/500 әсерін ерекшелеуге және 4.16-суретте көрсетілгендей жарылу қисығын тұрғызуға мүмкіндік береді. Білікше астындағы қаттылық қисығы Δt 800/500 параметріне параллель құрылады, беріктілік эволюциясы нақты құрылымдық эволюцияны білдіреді.



Сурет 4.17. Имплантат сынауы

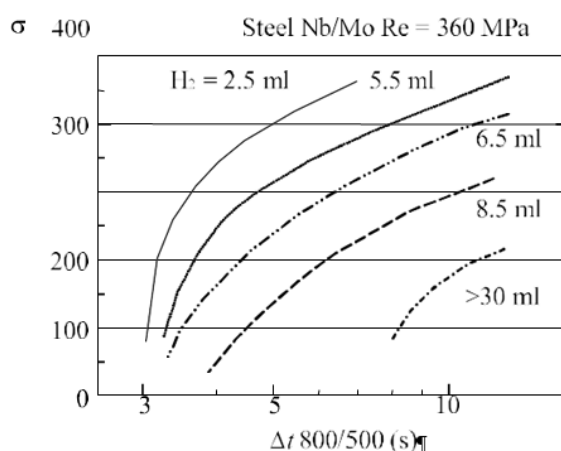
Осылайша, 4.17-суретте біз мартенситті құрылыммен байланысты Δt 800/500 төменгі параметрлері үшін (қисық қаттылық шыңы), жарылу кернеуі өте төмен екенін көреміз, бірақ

құрылым 100% мартенситті болудан кейін, жарылу кернеуі айтарлықтай артады. Бұл мысалда қарастырылатын Болат Е36 түріне жатады, сонымен қатар, егер Δt 800/500 7 немесе 8 секундтан жоғары болса, онда ірі түйіршік аймағы негізгі металдың серпімділік шегінен жоғары кернеуге төтеп бере алады, себебі бұл негізгі металдың деформациясына және оның кернеудің бәсеңдеуіне әкеледі.

Барлық болаттардың сипаты 4.17-суреттегі әрекетке ұқсас, онда жарылу кернеуі мен құрылымы арасындағы байланыс анық байқалады.

Осы фигураға сәйкес келетін сынаулар дәнекерлеу өнімін пайдалану арқылы жүргізілді, онда диффузиялық сутегінің құрамы 100 г жағылған металға 5,5 мл құрады. Сол сынаулар осы үшінші фактордың әсерін бағалау үшін сутегінің басқа құрамымен жаңғыртылуы мүмкін.

4.18-суретте Δt 800/500 шартына қарамастан, диффузиялаушы сутегі мөлшері ұлғайған кезде, жарылу кернеуі айтарлықтай азаяды. Осылайша, сутегі суық крекингтің іргелі детерминанты болып көрінеді. Дегенмен, сутегі азайған мөлшерде құрылымы толық мартенситті болса, жарылу тудыруы үшін жеткілікті түрде төмен кернеу қажет. Осылайша, 100% мартенсит құрылымының пайда болуын болдырмау үшін дәнекерлеу шарттарын (дәнекерлеу энергиясы, алдын ала қыздыру) таңдау қажет.



Сурет 4.18. Диффузиялаушы сутегі құрамының қисық крекинкке әсері; [COL 77]

Алайда, бұл барлық болатқа қатысты орындалмайды. Мысалы, мартенситті тот баспайтын болаттардың кейбіреулері мартенситті айналуы болдырмау үшін, салқындату бірнеше күнге созылуы керек. Мұндай болаттарды дәнекерлеу үшін сутегі температуралы диапазонда суыту берілгенге дейін ығыстырылғанына көз жеткізу қажет, олай болмаған жағдайда сызат (200°C төмен) пайда болуы мүмкін. Бұл келесі қыздырудың мақсаты.

Алдыңғы суреттегі сызаттар қисық сызаттар ТӨА-ға жатады, бірақ сутегінің әсері, осы суреттер көрсететін кернеу мен құрылым сынақтар балқытылған металдан алынған сығындыларды іріктеу жолымен жүргізілген кезде бірдей болады [DEB 92].

Біз бұрын көрсеткеніндей, суықтай жару балқытылған металда болатты жоғары серпімділікпен дәнекерлеу кезінде орындалуы мүмкін. Егер білікше түбінің астында үзілу (ішінара ену) болса немесе ол дәнекерленген тігістерде шыршаның жарықтары (дәнекерлеу бағытына қарай 45° бұрышындағы микроскопиялық жарықтар) болса, білікше аралық созылу сипаттамаларына сәйкес ұзына бойы көлденең орналасуы мүмкін [MOT 82]. ТӨА-дан балқытылған металға дейін суық жаруды локализациялаудың бұл тасымалы балқытылған металдың серпімділік шегінен жоғарылауы мүмкін.

Дәнекерленген тігістер төмен көміртекті болаттан жасалған. Осы болаттарды дәнекерлеу кезінде негізгі металды талдау емес, ол ТӨА-да жарылуын болдырмау үшін қажетті алдын ала қыздыру температурасын анықтайды, ал білікше жарылуын болдырмау үшін балқытылған металды талдау қажет.

Суық жарылу қаупін төмендетудің тиімді құралы және осы болаттарды дәнекерлеу кезінде алдын ала қыздыру температурасы «Х» немесе «К» формасындағы тораптар үшін тамырлы өту жолдарын орындау үшін толтырғышты, қосылыстың қалған бөлігін толтыру арқылы негізгі металдың механикалық сипаттамаларын анықтауға болады. Бұл ретте,

алдын ала қыздыру температурасы 50-100°C-қа азайтылуы мүмкін, бұл бір өнімді пайдаланумен салыстырғанда 50°C-қа аз және созылудың жалпы сипаттамаларына әсер етпейді [ВУИ 94]. Көптеген жағдайларда бұл алдын ала қыздыру қажеттілігін жоюдан тұрады, бұл өндіруші үшін тікелей экономикалық артықшылықтарды ұсынумен қатар, дәнекерлеушілердің жұмыс жағдайын едәуір жақсартады және пайдалану ақауларының жиілігінің төмендеуіне әкеледі, демек, жөндеу. Бұл тәжірибе бүгінгі күнге дейін кеңінен таралған емес.

Осылайша, суық шаюдың алдын алу үшін қажетті іс-әрекеттер жоғарыда айтылған барлық тұжырымдарға негізделген және 4.5-кестеде келтірілген.

4.3.3 Жарылуды қыздыру

Қызудың жарықтары негізінен ірі түйіршікті аймақта, кейде балқытылған металда пайда болады. Ол дәнекерлегеннен кейін термиялық өңдеу кезінде немесе жоғары температурада пайдалану кезінде басталады [DHO 92]. Бұл карбид құраушы элементтері (Cr, Mo, V) бар төмен қоспаланған болат, сондай-ақ AISI 347 болат сияқты кейбір аустениттік тот баспайтын болат, сондай-ақ қатты балқитын никель қорытпаларына қатысты (мысалы, Inconel 800H).

Кесте 4.5. Суық жарықтарды болдырмау үшін қажет әрекеттер

1) Дәнекерлеу ваннасына енгізілетін сутегі мөлшерін азайтыңыз	
– буын тазалығы – Дәнекерлеу бұйымдарын таңдау – Өнімдерді қыздыру және сақтау (герметикалық сақтау жағдайларынан басқа)	Ылғал, май және т. б. Төмен диффузияланушы сутегі. Өнім берушінің ұсыныстарына сәйкес.
2) Барлық жерде бірінші өту және қалың жинақтардың екінші өту үшін өте төмен серпімділік шегі және өте төмен сутегі бар толтырғышты пайдаланыңыз.	
3) Мартенсит құрылымын болдырмау үшін дәнекерлеу шарттарын бақылау	
– дәнекерлеу энергиясы – Алдын ала қыздыру – өту жолдары арасындағы температура	Δt 800/500 және IRSID графигіне сәйкес шарик астындағы қатаңдық қисығы негізінде таңдау, мысалы [COL 77]
4) Суыту алдында сутегін сорып алу үшін келесі қыздыруды көздеу (жоғары қыздырғыштығы бар болаттар жағдайында), әрдайым алдын ала қыздыру мен байланыстыру, тиімді кейінгі қыздырудан бұрын өте қиын температурадан төмен салқындатуды болдырмау үшін	
5) Ішкі немесе сыртқы кернеуді азайтыңыз	
– дәнекерлеу процедурасы – Қысу	

Мұндай жарылу дайындаудан пайда болатын қатты қалдық кернеулердің әлсіреуі нәтижесінде, оның деформациялануы түйіршіктер шекарасының деңгейінде шоғырланғанда орын алады. Бұл тұндыру нәтижесінде шыңдалған материалдардың термиялық әсерінің ірі түйіршікті аймағына жатады, өйткені дәнекерлеу кезінде осы қорытпаларды қатыратын карбидтер ілінісу аймағына жақын өте жоғары температурада қабылданатын аймақтарда ерітіндіге қайтарылады және термиялық циклдарды дәнекерлеу жылдамдығынан салқындату кезінде қалады.

Қайтадан қыздыру, пайдалану немесе термиялық өңдеу кезінде карбидтер дәнекерлегеннен кейін термиялық циклдардың нәтижесінде деформациялық беріктендіру нәтижесінде пайда болатын дислокацияларда түйіршіктердің ішінде шөгілетін болады. Бұл матрицаны едәуір нығайтады, сондықтан кернеуді алумен байланысты жүгірткінің деформациясы оларды қолдай алмайтын дәндер шекарасының деңгейінде болады.

Осылайша, жарықтың бұл түрі, ең алдымен, еденге төзімділікке арналған материалдардың қалың жинақтарына жатады, бұл ретте қалыңдығы қалдық кернеулердің

жоғары деңгейін тудырады. Алайда, қауіп тек материалды атаулы талдаумен ғана емес, сонымен қатар қоспалардың (S, P, As, Sb) және қалдықтардың (Cu, Sn) құрамының функциясы болып табылады, өйткені бұл элементтер түйіршік шегінің деңгейіне бөлініп, оларды әлсіретеді.

Әр түрлі әдістер [DHO 98, TAM 95] қайта қыздыру кезінде жарылу бейімділігін бағалау үшін қолданылады, бірақ біздің артықшылығымыз үлгілердің ыстық күйінде созылуына изотермиялық сынақтар кезінде алаңды өлшеуді азайту болып табылады. Сынау температурасына қарамастан 20%-дан төмен аудан мәнінің төмендеуі тіркелмесе, қауіп өте төмен деп саналады; екінші жағынан, үйкеліс 10%-дан төмен болғанда қауіп те арта түседі.

Іс жүзінде, сезімтал материалды пайдалану қажет болған кезде қауіптерді азайту үшін төмендегілерді орындау өте маңызды:

- мүмкіндігінше қысуды төмендету арқылы қосылыстарды жобалау,
- ең төмен ыстық созылу сипаттамалары бар дәнекерлеу өнімін таңдау,
- өту көлемін шектеу және ірі түйіршікті материал мөлшерін азайту үшін төмен энергияны тұтыну арқылы дәнекерлеу үдерісін пайдалану,
- алдыңғы өткелдермен жасалған ірі түйіршік аймақтарын қайта аустенизациялау үшін өту жолдарын бөлу және түйіршік мөлшерін азайту,
- қалдық кернеуді азайту үшін дәнекерлеу тізбегін қарастыру,
- кернеулердің шоғырлануын болдырмау үшін таза өту жолдарын жақсы сулау және жыралардың болмауын қамтамасыз ету.

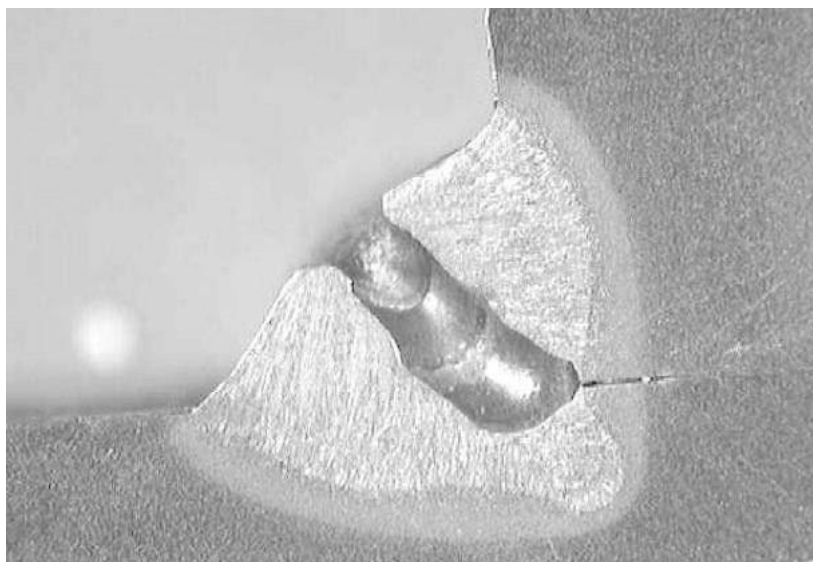
Сонымен қатар, термиялық өңдеу дәнекерлеуден кейін қайта қыздыру кезінде жарылу ықтималдығы үлкен болуы мүмкін, өйткені зертханада және өндірісте 550-650°C аралықтағы төмен иілгіштігі бар CrMoV болаттың жарылуы көрсетілді. Шамамен 450°C температурада сатыны өткізу арқылы өңдеу температурасына қол жеткізу үшін төмен икемділік аймағын өте тез кесіп өтуге болады [PIL 86].

4.3.4 Кеуектілік

Біз балқытылған металда кеуектілікті тудыратын ықтимал төрт механизмді бөлеміз:

- HDE үдерістері арқылы жүзеге асырылатын дәнекерлеуге арналған газ капиллярының тұрақсыздығы,
- борт түбіндегі газдың артық қысымы,
- қату температурасы кезінде балқытылған металда қатты металдағы ерігіштік шегінен жоғары ерітілген газдың құрамы,
- газ түзілетін дәнекерлеу ваннасындағы химиялық реакция.

HDE процестері құлып ұңғымасын қамтиды. Бұл дәнекерлеу ваннасы өте жоғары тығыздықтағы плазмалық доғаның, лазерлік сәулелің немесе электрондық сәулелің әсерімен металл ұшып кетумен пайда болатын капиллярлардың қабырғаларында құрылатын газ буының қысымының арқасында тепе-теңдікте ұсталады. Жұмыс шарттары бізге тепе-теңдіктің мүлдем тұрақты жағдайын қолдауға мүмкіндік берген кезде, капиллярдың артқы жағында орналасқан сұйықтық қабырғасы кеуектілік қалыптастыра отырып, металл буының көп немесе аз уақыт бойы қирауы және бөлігін қамтуы мүмкін. Бұл гидродинамикалық кеуектерді әдетте құлау сәулесі қуатының тығыздығын (фокустау нүктесі, діріл және т. б.) өзгертіп және дәнекерлеу жылдамдығын азайтып, болдырмауға болады.

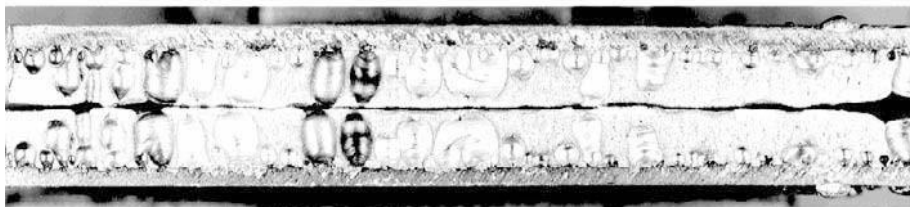


Сурет 4.19. Алдын ала боялған табақ тігісі - білікше арқылы бояудың ыдырауы нәтижесінде пайда болатын кеуектілік

Кеуектілік борт түбіндегі газдың артық қысымына байланысты пайда болған кезде ұзартылған пішінді қабылдайды және осы артық қысым көзіндегі аймағымен байланысты қолдайды.

Қысым бортқа жасалған ауаның қызуы нәтижесінде пайда болуы мүмкін; бұл ену жеткіліксіз болған кезде итеру арқылы дайындалатын түйіспелі дәнекерленген тігістер үшін орын алады. Сонымен қатар алдын ала боялған парақтарды бұрыштық дәнекерлеу кезінде мырышталған қаңылтырдан тұратын өнім жабынының парақтарын ыдырату немесе ұшып кету нәтижесінде газдың бөлінуінен туындауы мүмкін (4.19-сурет).

Нәтижесінде, оның көзі құрастыруға жататын беттерді газсыздандыру болуы мүмкін; бұл, мысалы, плазмалық кесу беттерінде босаған азот, ол түйіспелер арасында ешқандай төменгі қашықтық болмаған кезде бірінші түйіспелік дәнекерлеу кезінде пайда болатын көптеген кеуекшелерді түсіндіреді (4.20-суретін қараңыз).



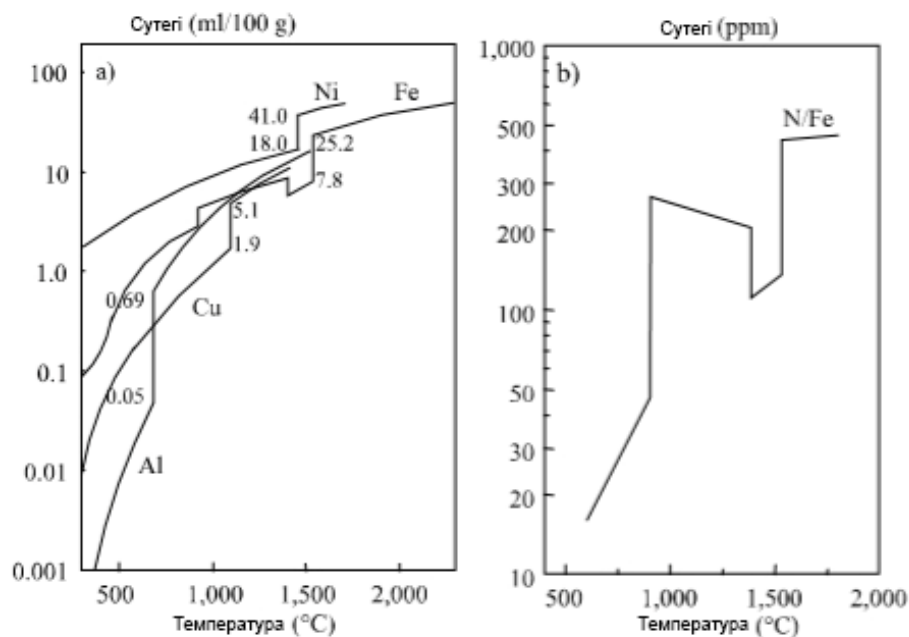
Сурет 4.20. Плазмалық-әуе үдерісі арқылы кесілген кесілген қаңылтырлар түріндегі флюспен дәнекерленген түйіспелі қосылыстың бірінші өтпесінен кейін текстураны сынау

Сұйық күйден қатты күйге өту кезінде газ тәріздес элементтің ерігіштігінің кенеттен төмендеуі дәнекерленген тігістердегі кеуектіліктің негізгі себебі болып табылады, бұл өзгеріс барлық материалдар үшін ортақ болып табылады (4.21-суретті қараңыз). Балқытылған металдағы ерітілген газдың концентрациясы қату температурасы кезінде қатты металдағы ерігіш шегінің шегінен жоғары болғанда, қатты дененің-сұйықтықтың бөліну шекарасына газды бұру жүреді. Бұл сұйықтықтағы ерітілген газдың мөлшерін жергілікті арттыруға әкеледі, және ол сұйықтықтағы ерігіш шегіне қарағанда жоғары болған кезде газ көпіршігі пайда болады.

Дәнекерлеу кезінде қорғауға кепілдік берілмеген болса, атмосфералық азотпен және оттегімен немесе ылғалды сіңірген өнімдерді дәнекерлеу кезінде пайда болатын сутегімен, суық қаңылтыр бетінде конденсацияланатын су буымен ластануы мүмкін, бұл суытатын сұйықтықтың шығуына, жанарғының тұйықталуы немесе нашар дайындалған қосылыстың бетінде болатын майдың немесе майлаудың ыдырауына әкеледі. Оттегі кеуектілік көзі емес, себебі ол оксидтердің түзілуіне қатысты материалдардың көпшілігіне әсер береді.

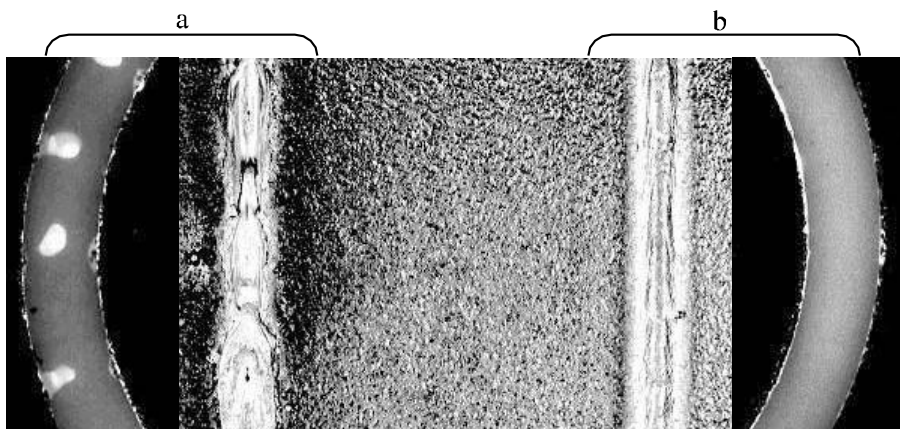
Феррит болаттары мен никель қорытпалары, құрамында нитрид құраушы элементтер жоқ (Ti, Al, Nb) азот көбінесе кеуектілік көзі болып табылады, ал ол алюминий қорытпаларында, сондай-ақ аустенитті тот баспайтын болаттарда сутегі болып табылады, бірақ жеңіл қорытпаларға қарағанда анағұрлым төзімді болып табылады.

500



Сурет 4.21. Температурадағы ерігіштіктің эволюциясы: а) әртүрлі таза металдардағы сутегі [LAN 99]; б) таза темірдегі азот [КОУ 87]

Дәнекерлеу ваннасында газдың пайда болуына әкелетін химиялық реакция - бұл кеуектіктің соңғы себебі. Көміртегінің монооксидінің пайда болуы кеуектерден пайда болды, егер толтырғышты пайдаланбаса, өте бай қышқылдандырғыштар арқылы дәнекерлеуде болат жиегімен дәнекерлеу кезінде туындайды. Алайда, болаттың осы түріне байланысты болмаса да, балқытылған металда СО босату әлі де орындалады, болаттың қалдық оттегісі силикат түрінде болғандықтан, өте жоғары температурада (>1600°C) олар болаттағы көміртекке азайтылуы мүмкін. Бұл реакция электронды-сәулелі дәнекерлеу кезінде өте қарқынды, себебі қоршаған вакуум термодинамикалық тепе-теңдікті жылжытады. Сонымен қатар болатта қалдық алюминий (шамамен 0,02%) болмаса, ал алюминаттар көміртегінің монооксидіне қарағанда, дәнекерлеу ваннасының температурасы кезінде тұрақты болса, сенімді дәнекерленген тігісті алу мүмкін емес болатын қысқартуға ықпал етеді (4.22-сурет). Дәнекерлеу ваннасында будың пайда болуы кеуектілік тудыруы мүмкін. Бұл дәнекерлеу ванналарының температурасында будан төмен абсолюттік шамасы бойынша тотықтың пайда болуының энтальпиясы бар материалдармен сутектің қатысуымен орындалады. Бұл мысқа, сондай-ақ таза никельге, монель-металға және тіпті кейбір никель-хром-темір қорытпаларға қатысты [LAN 99]. Тек бір ғана құрал қолданылады: осы реакцияны болдырмау үшін титан және алюминий сияқты қуатты қышқылдардан тұратын толтырғыштарды пайдаланыңыз.



Сурет 4.22. ЭБ ХС 38 ($Al = 0,002\%$) дәнекерленген жіктер учаскесіндегі беттік аспект және рентген: а) кірістірісіз; б) қалыңдығы 0,02 мм алюминий фольганың жанасу жазықтығына орнату арқылы

4.4 Қолданылған әдебиеттер тізімі

[ABS 78] ABSON, DOLBY R.E., HART P.H.M., “The role of non-metallic inclusions in ferrite nucleations in carbon steel weld metal”, *Proceedings of Trends in Steels and Consumables for Welding*, The Welding Institute, Paper no. 25, London, 14-16 November.1978.

[ANT 81] ANTUNES M., BONNET C., “Application d'un essai de trempabilité à la recherche des facteurs ayant une influence sur la formation de la ferrite aciculaire”, *Journées d'information Métallurgie de la Zone Fondue*, Société Française de Métallurgie/Société des Ingénieurs Soudeurs – Section sud-est, Conférence no. 9, Publication de la Soudure Autogène, 1981.

[BAI 78] BAILEY N., JONES S.B., “The solidification cracking of ferritic steel during submerged arc welding”, *Welding Journal*, p. 217s-231s, August 1978.

[BAI 94] BAILEY N., *Weldability of Ferritic Steels*, Abington Publishing, 1994.

[BLA 99] BLAIS C., L'ESPÉRANCE G., EVANS G.M., “Characterisation of inclusions found in C-Mn steel welds containing titanium”, *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 4, no. 3, p. 143-150, 1999.

[BON 80] BONNET C., “Relation Structure – Résilience dans les soudures d'aciers doux et faiblement alliés brutes de solidification”, *Soudage et Techniques Connexes*, p. 3, July-August 1980.

[BON 86] BONNET C., GASPARD-ANGELI A., “Influence de la teneur en azote sur la résilience des soudures d'aciers C-Mn”, *Soudage et Techniques Connexes*, p. 3, May-June 1986.

[BUR 88] BURKHARDT J., LAU T., NORTH T.H., L'ESPÉRANCE C., “Effect of aluminum on the Ti-O-B-N balance in submerged arc welding”, *Welding Journal*, p. 25-30, August 1988.

[CHA 83] CHARPENTIER J.P., BONNET C., “Effect of deoxidation residues in wire and of some particular oxides in CS fused fluxes on the microstructure of submerged-arc weld metal”, in *Proceedings of the Effects of Residual, Impurity and Micro-alloying Elements on Weldability and Weld Properties*, The Welding Institute, Paper no. 8, London, 15-17 November 1983.

[CIE 93] CIESLIAK M.J., “Cracking phenomena associated with welding”, *ASM Handbook*, vol. 6, p. 88-96, 1993.

[COC 78] COCHRANE R.C., KIRKWOOD P.R., “The effect of oxygen on weld metal microstructure”, *Proceedings of Trends in Steels and Consumables for Welding*, The Welding Institute, p. 103, London, 14-16 November 1978.

[COL 74] COLLECTIF, *Courbes de transformation des aciers de fabrication française*, edited by the CPS, 1974.

[COL 77] COLLECTIF, *Courbes Dureté/Paramètre de refroidissement en conditions de*

soudage, collection established at the IRSID, 1977.

[DEB 92] DEBIEZ S., GAILLARD L., MALTRUD F., Etude de la soudabilité d'un acier de nuance E690 T+R de Sollac avec des produits d'apport à bas et très bas hydrogène, Rapport Institut de Soudure no. 28406, 1992.

[DEV 83] DEVILLERS L., KAPLAN D., MARANDET B., RIBES A., RIBOUD P.V., "The effect of

low level of some elements on the toughness of submerged-arc welded CMn steel welds", *Proceedings of the Effects of Residual, Impurity and Micro-Alloying Elements on Weldability and Weld Properties*, The Welding Institute, London, 15-17 November 1983.

[DHO 92] DHOOGHE A., VINCKIER A., "La fissuration au réchauffage – revue des études récentes (1984-1990)", *Le Soudage dans le Monde*, vol. 30, no. 3-4, p. 45-71, 1992.

[DHO 98] DHOOGHE A., "Survey on reheat cracking in austenitic stainless steels and Ni base alloys", *Welding in the World*, 41, p. 206-219, 1998.

[EVA 97] EVANS G.M., BAILEY N., *Metallurgy of Basic Weld Metal*, Abington Publishing, 1997.

[GAR 75] GARLAND J.G., KIRKWOOD P.R., "Towards improved submerged arc weld metal toughness", *Metal Construction*, p. 275-283, May 1975, p. 320-330, June 1975.

[HEM 69] HEMSWORTH B., BONIZEWSKI T., EATON N.F., "Classification and definition of high temperature welding cracks in alloys", *Metal Construction and British Welding Journal*, p. 5-16, February 1969.

[KOT 92] KOTECKI D.J., SIEVERT T.A., "WRC-1992 constitution diagram for stainless steel weld metals: a modification of the WRC-1988 diagram", *Welding Journal*, p. 171s-178s, May 1992.

[KOT 93] KOTECKI D.J., "Welding of stainless steel", *ASM Handbook*, vol. 6, p. 677-707, 1993.

[KOU 87] KOU S., *Welding Metallurgy*, John Wiley & Sons Inc., 1987.

[LAN 99] LANCASTER J.F., *Metallurgy of Welding*, Abington Publishing, 1999.

[LIM 96] LIMU H., HANNERZ N.E., "Influence of vanadium and niobium on weld solid state cracking", *Int. J. for the Joining of Materials*, vol. 8, no. 4, p. 134-144, 1996.

[MOT 82] MOTA J.M.F., APPS R.L., "Chevron cracking – a new form of hydrogen cracking in steel weld metals", *Welding Journal*, p. 222, July 1982.

[PIL 86] PILARCZYK J., DEBSKI E., "Reheat cracking in low alloy steel weldments and welded structures", *Proceedings of 3rd International Conference Joining of Metals (JOM-3)*, Helsinki, Finland, December 1986.

[SCH 49] SCHAEFFLER A.L., "Constitution diagram for stainless steel weld metal", *Metal Progress*, 56, S 680, 1949.

[STL 93] ST LAURENT S., Etude de l'influence du Bore, de Titane et de l'Azote sur les propriétés de la zone fondue de dépôts soudés d'aciers microalliés, Thesis, University of Montreal, Ecole Polytechnique, July 1993.

[SUU 83] SUUTALA N., "Effect of solidification conditions on the solidification mode in austenitic stainless steels", *Metall. Trans.*, 14A, p. 191-197, 1983.

[TAM 95] TAMAKI K., SUZUKI J., IMAI I., HORII Y., KUMAGAI T., "Effects of impurities and alloy ingelement sonre heat cracking sensitivity of 720N/mm² class high-strength steel", *Welding International*, vol. 9, no. 12, p. 960-966, 1995.

[VUI 94] VUIK J., VAN WORTEL J.C., VAN SEVENHOVEN C., "Application of very low yield strength consumables in the root pass of weldments to avoid preheating", *Welding in the World*, vol. 33, no. 5, p. 362-369, 1994.

5 тарау. Дәнекерлеу өнімдері

5.1 Жабыны бар электродтар

5.1.1 Жабын құрамы: салдары

Дәнекерлеу бұйымдарын жіктеу стандарттары жабынның түріне байланысты жабылған электродтардың бірнеше түрін анықтайды.

Электрод жабыны әр түрлі функцияларды қамтамасыз ететін көптеген құрамдастардан тұрады:

- балқу сипаттамаларына әсер ететін минералды өнімдер доға жылуының әсерінен газ тәрізді сәулеленуге ыдырап шлак түзеді, оның физикалық-химиялық сипаттамалары электродтың пайдалану сипаттамаларына әсер етеді;
- электрод өзекшесін балқытудың нәтижесінде металлмен біріктірілген металл бұйымдар дәнекерленген қосылыста пайдаланылатын болаттың қасиеттеріне қатысты баламалы қасиеттерді алу үшін дәнекерлеу тігісінің металын талдауды түзетуге мүмкіндік береді;
- экструзиялық агент ретінде негізгі жабындарға шағын мөлшерде қосылатын және осы электродтардың жоғары температуралы қызуы кезінде бұзылатын органикалық материалдар. Олар төмен температурада (целлюлоза, рутил және т.б.) дәнекерленетін электродтарда көп мөлшерде бар, себебі бұл өнімдердің доғадағы ыдырауы сутектің бөлінуін тудырады, бұл оларға көптеген қолдануларда құнды болатын пайдалану сипаттамаларын береді;
- металл ядросына жабысатын қатты жабынды алуға мүмкіндік беретін байланыстырғыштар. Жалпы, натрий, калий немесе литий қарапайым немесе күрделі силикаттары бар, олар ілінісу функциясынан басқа, сілтілі элементтердің иондалу әлеуетінің төмендігінен доға сипаттамаларына әсер етеді.

Өнеркәсіпте негізгі және рутилді электродтар жиі қолданылады. 5.1-кесте бір жағынан дәнекерлеудің құрамдастары мен шарттарын салыстыруға мүмкіндік береді, ал екінші жағынан, пайдалану қасиеттері мен тұндырылған металды химиялық талдау үшін осының салдарын салыстыруға мүмкіндік береді.

Кесте 5.1. Рутил және негізгі электродтардың негізгі құрамдастары мен сипаттамалары

Электрод түрі		Рутилдік	Негізгі
Негізгі компоненттер	металл емес	TiO ₂ , Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , Карбонаттар, целлюлоза және басқа силикаттар, экструзиялық қоспалар	CaF ₂ , MgO, Карбонаттаржәнет.б. Силикаттар, экструзиялық қоспалар
	металл	Қоспаланған элементтер Қышқылдандырғыштар	Қоспаланған элементтер Қышқылдандырғыштар
Пеш температурасы		Төмен (<160°C)	Жоғары (350/480°C)
		Жұмсақ қорытпа, тұрақты доға,	Қатебалқу, тұрақсыздоға, агрессивті,

Электрод түрі		Рутилдік	Негізгі
	Практик алық	Шағын тамшылар түрінде жіберу, қысқатамшы арқылы жіберу, тұйықталу жоқ немесе бірнеше,	Қысқа тұйықталған үлкен тамшы арқылы жіберу,
		Жеңіл қайта қосу,	Күрделі қайта қосу,
	Аналитикалық	O: 600 бастап 1,000 ч./млн. дейін Ti: 300 бастап 800 ч./млн. дейін Nb: 100 бастап 300 ч./млн. дейін V: 50 бастап 250 ч./млн. дейін	O: 200 бастап 500 ч./млн. дейін Ti, Nb, V: қалаған мәндерге теңшеледі
		H ₂ Diff: >15 мл/100 г DM	H ₂ Diff: <5 мл/100 г DM

Осылайша, рутил типті электродтар пайдалану кезінде ең жақсы қасиеттерге ие: доғаның өте жақсы тұрақтылығы, металды ұсақ тамшыларға тасымалдау, бұл әдетте шашыраудың төмен деңгейіне және негізгі электродтарға қарағанда түтіннің төмен бөлінуіне әкеледі, шариктерді өте жақсы сулау және суыққа қатысты қайта іске қосу жеңілдігін береді.

Алайда, өзінің сипаты бойынша бұл шлак шөгінді металдағы қалдық элементтердің құрамына әсер етеді, механикалық қасиеттерді оңтайландыру тұрғысынан қажет етілмейді.

Балқытылған металдағы оттегінің құрамы сипатына және жабында болатын шашыратқыш элементтердің санына байланысты өзгеруі мүмкін, дегенмен ол базалық электродпен қол жеткізуге болатын деңгейге дейін азая алмайды. Бұл соққы сынау кезінде пластикалық бұзылудың неғұрлым төмен энергиясына әкеледі.

Балқытылған металдағы титан құрамы механикалық қасиеттерді оңтайландыру үшін реттелмейді. Шлак негізінен рутил элементтерінен тұрады (TiO₂ титан тотығы), титанның кейбір мөлшері тотығу-қалпына келтіру реакцияларына және доғада және бөлім шекарасында болатын металл шлак алмасуына сәйкес әртүрлі мөлшерде шөгінді металға көшіріледі. Бұл реакциялар дәнекерленген тігістерге (созылу кезіндегі беріктілік шегі, ағымдылық шегі) сәйкес және дәнекерленетін болат түріне байланысты әртүрлі механикалық сипаттамалар бойынша теңдестірілетін барлық химиялық элементтерге байланысты.

Балқытылған металдағы ниобий мен ванадий құрамы белгілі бір нүктеден жоғары төмендетілуі мүмкін емес, өйткені бұл элементтер дәнекерлеу бұйымдарын өндіру кезінде пайдаланылатын табиғи орамдарда қоспалар ретінде қолданылады. Синтетикалық рутилдерді пайдалану өте таза, бірақ кең таралған емес, себебі оның құны табиғи рутилге қарағанда әлдеқайда жоғары.

Рутил электродтары жасаған дәнекерленген тігістердегі диффузиялық сутегінің құрамы әрдайым өте жоғары. Бұл экструзияны жеңілдету және доға сипаттамаларын жақсарту үшін қосылатын органикалық материалдардың болуымен түсіндіріледі. Алайда, бұл төмен дәнекерлеу температурасының нәтижесі болып табылады, ол силикат құрамындағы судың аз ғана бөлігін алып тастауға мүмкіндік береді және экструзиялық агенттерді бұзбайды.

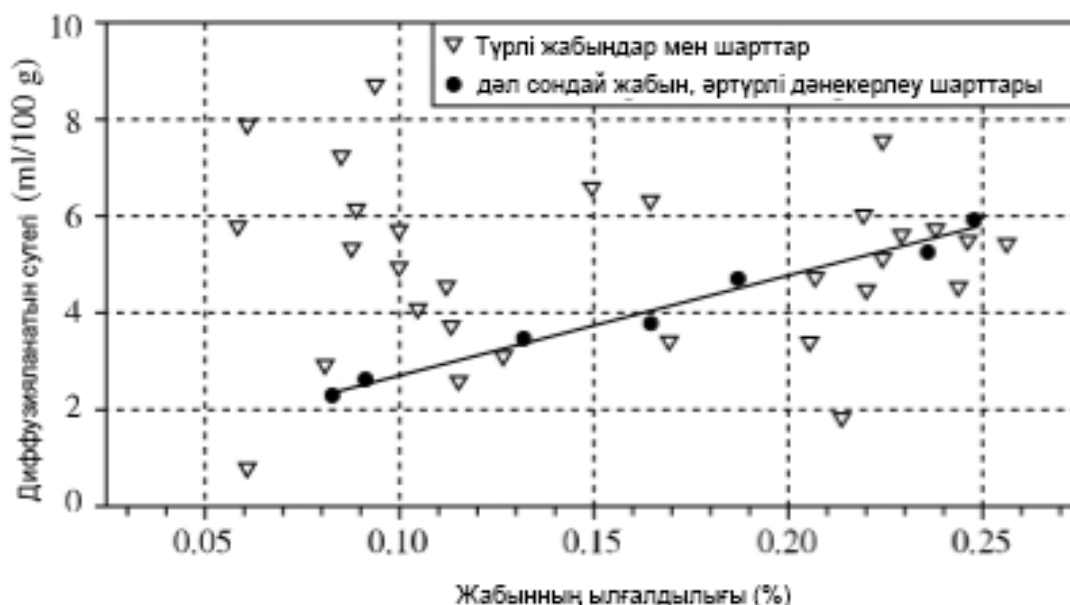
Осылайша, рутилді электродтар олардың пайдалану ыңғайлылығы үшін және дәнекерленген жікті жасау үшін бағаланады, ал базалық электродтар дайындалатын қосылыстар қатаң металлургиялық сапа стандарттарына сәйкес келуі тиіс.

Базалық электрод болаттың қажетті механикалық қасиеттерін қанағаттандыруы тиіс және дәнекерлеуі қажет (созылу, беріктілік, CTOD, сырғыштық және т.б.). Көптеген аналитикалық комбинациялар балқытылған металда талап етілетін созылу сипаттамасын

алуға мүмкіндік береді, бірақ созылу сипаттарын да, беріктігін де қанағаттандыратын ерітінділер әлдеқайда шектеулі. Сонымен бірге электрод үшін сақталатын химиялық теңгерім барынша сенімді болуы тиіс, яғни ол айырмашылықтарға қарамастан, түрлі талаптарды қанағаттандыратын дәнекерлеу жағдайларының кең ауқымында кез келген өнеркәсіптік өндіріске тән (жылу циклдары). Нәтижесінде, базалық электрод балқытылған металдағы диффузиялық сутегінің құрамы суық жарудың кез келген қаупін болдырмау үшін және алдын ала қыздыруды және кейінгі қыздыруды азайту немесе болдырмай мүмкіндігінше төмен болатындай етіп жобалануы тиіс.

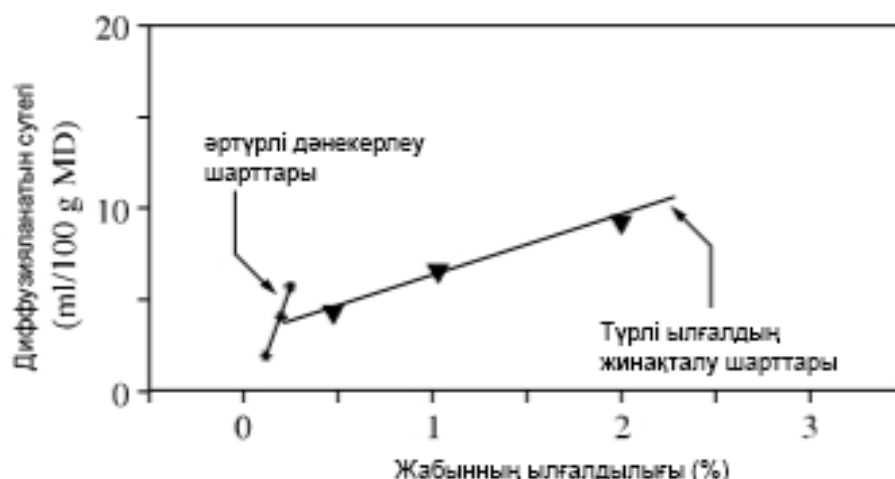
5.1.2 Негізгі электродтар және диффузиялаушы сутегі

Дәнекерлеу бұйымдарындағы диффузиялаушы сутегінің құрамын анықтау қиын, өйткені оның шағын өлшемі сутегі атомымен оңай диффузияланады және бөлме температурасында болаттан шығарылады, сондықтан дәнекерлеу кезінде енгізілген сутегінің нақты мөлшерін білу мүмкін емес. Осыған байланысты дәнекерлеу бұйымдарын жіктеу қажеттілігіне қатысты диффузиялаушы сутегінің құрамын анықтау қатаң ұсынымдардың мәні болып табылады, олар пайдаланылатын әдіснаманы өте дәл сипаттайды. Егер нәтижеде экстремалды ауытқуларды тіркеу қажет болмаса, бұл әдіснаманы қатаң сақтау қажет (қосарланған) (ISO 3690 или AWS 4.3-1993).



Сурет 5.1. AWS 7018 типті электродтар үшін диффузиялық сутегі / жабынның ылғалдылығы қатынасы

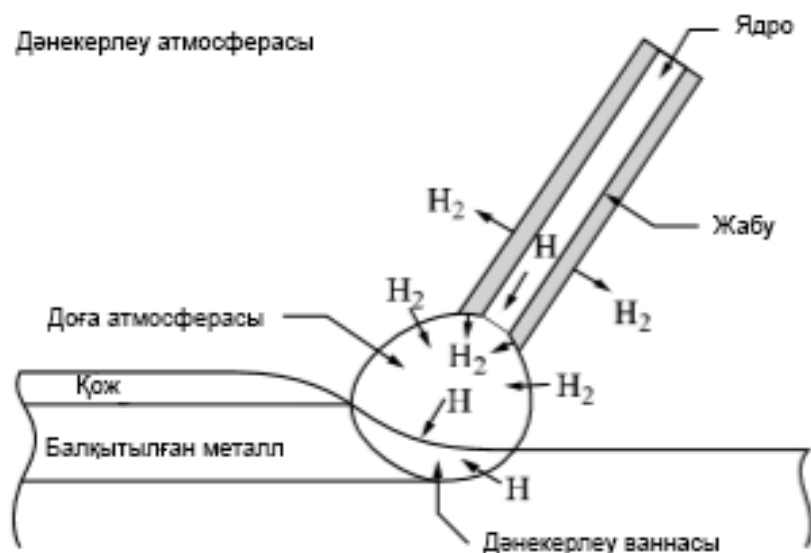
Диффузиялаушы сутегінің құрамы 100 г тұндырылған металға қатысты (мл/100 г DM) миллилитрде белгіленеді. Бұл дәнекерлеу өніміндегі ылғалдылыққа байланысты, бірақ 5.1-суретте айқын көрсетілгендей, бұл екі өлшем арасында ортақ байланыс жоқ және 5.2-суретте көрсетілгендей, электродтың нақты жабыны шектеулі болса да, ылғалдылықтың өзгеруі дәнекерлеу немесе ылғал жинау шарттарының өзгеруі нәтижесінің алынуына байланысты екі түрлі қатынастан тұрады.



Сурет 5.2. AWS 7018 типті электрод үшін диффузиялық сутегі/жабынның ылғалдылығы қатынасы

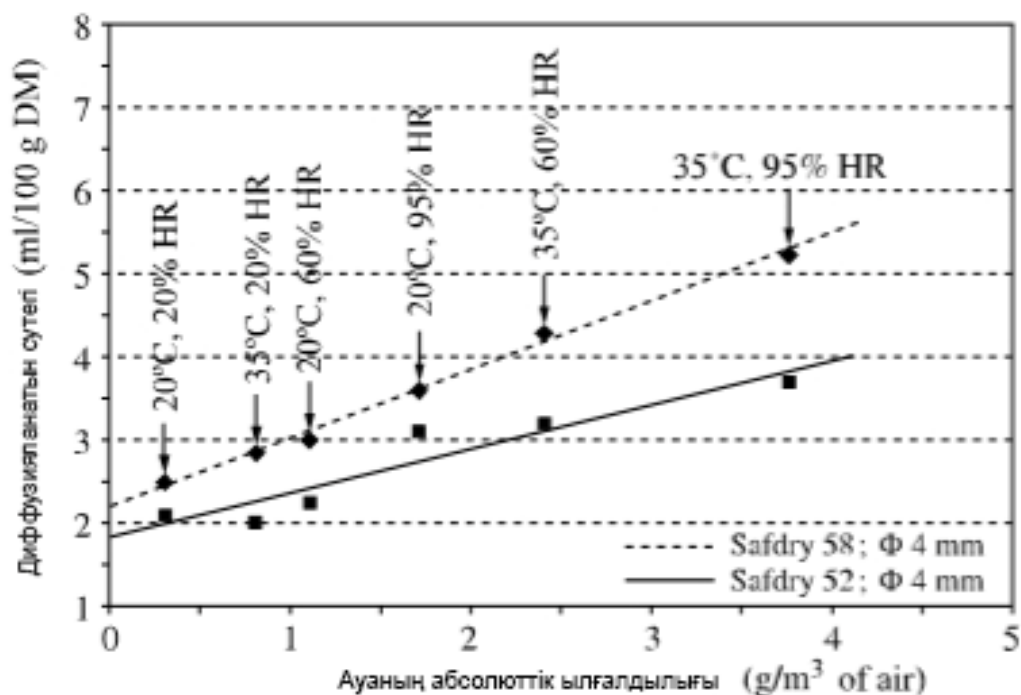
Диффузиялаушы сутегі мен жабынның ылғалдылығын байланыстыратын қатынастардың қиындығы су әртүрлі формада болатын фактіге қатысты: ылғал атмосфераның әсерінен сіңірілген судың бірінші жағдайына сәйкес келетін еркін ретінде белгілі су кристаллизациялық су деп аталады, ол электродтың әртүрлі құрамдастарымен химиялық байланысты. Егер жабынның температурасы жоғарыласа, еркін су 100°C-тан асқан кезде, кристаллизациялық су байланыс түріне қатысты әлдеқайда жоғары температураларда ғана бөлінеді, демек, одан материал алынады. Осылайша, электрод жабынындағы су мөлшері бірдей болғанда, осы судың экстракциясының температурасы жоғары болса, ол дәнекерлеу үдерісінде доғаға жақын бөлінетін болады және дәнекерленген тігісте сутегінің тасымалдануы соғұрлым көп болады. Осылайша, электродты күйдіру температурасы негізгі электродты дайындау кезінде төмендегенде, кристаллизациялық судың азаю мөлшері жабын материалынан шығарылады. Бұл күйдіру нәтижесінде қалдық судың аздаған өзгеруі диффузиялаушы сутегі құрамының ұлғаюына әкеледі, ол ылғал сіңіру нәтижесінде болған кезде жабындағы су құрамының ұқсас өзгеруінен әлдеқайда жоғары (5.2-сурет). Нәтижесінде, суық жарылу қаупін жою мақсатында электродтарды (немесе флюспен доғалық дәнекерлеуге арналған флюс) сатып алу ерекшеліктерінде ылғалдың ең жоғары мөлшерін қою үшін практикалық логика жоқ, өйткені ылғалдылықты диффузиялаушы сутегімен байланыстыратын әмбебап қатынас жоқ. Екінші жағынан, диффузиялы сутегін өлшеуге қарағанда әлдеқайда жеңіл және жылдам ылғалдылықты өлшеуді пайдалану дәнекерлеу үдерісінің соңында осы электродты дайындау реттілігін тексеру үшін өміршең және қабылданған тәжірибе болып табылады. Бұл қолайлы, өйткені әрбір электрод үшін дәнекерлеудің қалдық ылғалдылығы мен диффузиялық сутегі арасындағы жалғыз байланыс бар.

Қазіргі таңда дәнекерлеу өнімдерін өндірушілердің көпшілігінде диффузиялық сутегі деңгейі өте төмен бірқатар базалық электродтар бар. Осының ең тиімді деңгейі 3 мл/100 г төмен деңгейге қайта ашық қаптамадан стержень арқылы кепілдік береді. Мұндай нәтижеге өнімді сақтау кезінде ылғалдың жиналуын болдырмау үшін шикізатты мұқият іріктеудің, жоғары дәнекерлеу температурасының және герметикалық қаптаманың арқасында ғана қол жеткізуге болады. Жалпы, бұл электродтар ылғалды атмосфераның әсеріне ұшыраған кезде ылғалдың төмен сіңуімен сипатталады.



Сурет 5.3. Балқытылған металдағы диффузиялаушы сутегінің пайда болуы

Алайда балқытылған металдағы диффузиялаушы сутегінің құрамы дәнекерлеу өнімімен белгілі бір нысанда жеткізілетін сутегіге ғана байланысты емес. Жабынды электродтар жағдайында жабынды компоненттерінің ыдырауы нәтижесінде пайда болатын газ ағыны қоршаған атмосферамен алмасудың алдын алу үшін жеткіліксіз (5.3-сурет). Осылайша, доға деңгейіндегі сутегінің парциалды қысымы және балқытылған металдағы диффузиялаушы сутегі қоршаған атмосферадағы ылғалдың абсолюттік құрамымен бірге ұлғаяды (5.4- суретті қараңыз).



Сурет 5.4. Балқытылған металдағы диффузиялаушы сутегіне атмосферадағы су құрамының әсері (SAF деректері)

Диккё және Руге кез келген температура мен қысым жағдайында диффузиялаушы сутегінің құрамын білуге мүмкіндік беретін диаграмма ұсынды. Бұл кесте әмбебап емес, себебі атмосфералық алмасулар электродтың қорғанысына (кратердің тереңдігі, шығарылған газдың көлемі және т.б.) байланысты. Дегенмен, тәжірибе көрсеткендей, қазіргі уақытта сатылатын AWS 7018 типті төмен сутекті электродтардың көпшілігінің әрекетін көрсетеді.

5.2 Флюстер арқылы доғалы дәнекерлеуге арналған флюстер

5.2.1 Балқытылған флюстер және түйіршіктелген флюстер: артықшылықтары мен кемшіліктері

Флюс арқылы доғалы дәнекерлеуге арналған флюстер балқыту немесе түйіршіктеу жолымен алынуы мүмкін.

Балқытылған флюстер электр пешіне енгізер алдында араласатын қатты шикізаттан жасалады. Содан кейін оларды 1600°C температураға дейін қыздырады, бұл химиялық біртекті сұйық өнім алуға мүмкіндік береді. Бұл өнім содан кейін пластинаға құйылады, қатты салқындатқышты және салқындағаннан кейін бөлме температурасына дейін салқындатқышты береді, осылайша мінсіз химиялық біртектілікті сақтайды.

Бұл шыныны қажетті гранулометриялық таралу үшін ұсақтап, електен өткізеді. Баламалы өндірістік үдерісте сұйық өнім пластинаға құйылмайды, ол ұсақтау операциясын жояды.

Түйіршіктелген флюстерді дайындау шикізаттан түзілген құрғақ қоспадан басталады, бұл жағдайда өте жұқа түйіршіктерден тұрады (көбінесе 300 микроннан кем). Құрғақ қоспаны гомогенизациялаудан кейін араластыру қарапайым немесе аралас натрий, калий немесе литий силикатын қосу жолымен жүргізіледі. Түйіршіктеу, яғни әр түрлі шикізаттан алынған ұсақ бөлшектерді агломерациялау силикатты байланыстырушының көмегімен орындалуы мүмкін. Содан кейін алдын ала кептіру сатысы, көбінесе жалған сұйық қабатты пайдаланады, одан кейін дайындалған флюс карбонаттар болса, немесе одан да жоғары (шамамен 800°C) шамамен 500°C температурада дәнекерлеу керек.

Құйма флюстер мен түйіршіктелген флюстер өз артықшылықтары мен кемшіліктеріне ие.

Құйылған флюстың әрбір дәндері түйіршіктелген флюс дәніне қарағанда химиялық ұқсас, оның бөлшектері химиялық біртекті емес. Осылайша, формулаларды бөлу қаупі жоқ (мысалы, бор) өте аз мөлшерде нақты элемент болатын балқытылған флюстерді жасауға болады. Бұл әсіресе түйіршіктелген флюс үшін маңызды.

Балқытылған флюстерді дайындау байланыстырғыш затты пайдалануды талап етпейді. Бұл түйіршіктелген флюстермен салыстырғанда екі артықшылық пен бір кемшілік береді:

- құйма ағындардың ылғал сіңуі іс жүзінде аз, өйткені су тек астық бетінде адсорбцияланады. Түйіршіктелген ағын, керісінше көп, себебі атмосфералық ылғалдылыққа қатысты жауап береді [GAS 86];

- балқытылған флюс дәндері түйіршіктелген флюс дәніне қарағанда анағұрлым берік, бұл оларды қайта өңдеуге жарамды етеді;

- алайда, түйіршіктелген флюстер өндірісінде пайдаланылатын байланыстырушылар, әдетте балқытылған флюстерге қарағанда, доғаның жақсы тұрақтылығын жасайды.

Түйіршіктелген флюстерге қарағанда балқытылған флюстерде ферроқорытпалар да, қышқылсыздандырғыштар да болмайды, себебі олар өндіріс кезінде сұйық күйде тотығады. Бұл дәнекерлегеннен кейін шлақты қайта өңдеуге және оны жаңа флюспен араластыра отырып, қайта пайдалануға мүмкіндік береді - жоғары флюсті тұтынатын белгілі бір ірі өнеркәсіп салалары үшін экономикалық тиімді болуы мүмкін (мысалы, Құбыр өндірісі) [GAS 86]. Екінші жағынан, бұл аналитикалық түзетулерді жоққа шығарады және шөгінді

металда оттегінің құрамын бақылауға түйіршіктелген флюс арқылы қол жеткізуге болады. Қазіргі таңда түйіршіктелген флюстер Еуропа мен АҚШ-та жиі қолданылады, ал флюстер Жапония мен Ресейде өте танымал.

5.2.2 Ағынның рөлі: металлургиялық аспектілері

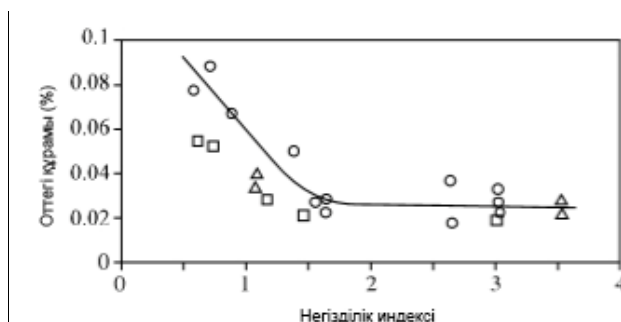
Флюс арқылы доғалық дәнекерлеу тұтас немесе ұнтақты сым мен флюсті пайдалануды қамтиды, бұл ретте доғалар сымның соңынан жинақтауға жататын бөлшектер арқылы флюске өтеді. Флюс екі негізгі функцияларды орындауы тиіс: ол доғаның жақсы тұрақтылығын қамтамасыз етуі және дәнекерлеу ваннасын және металл тамшыларды атмосфералық азоттан және оларды доғаға тасымалдау кезінде оттегімен ластанудан қорғауы тиіс. Флюс, сондай-ақ дәнекерлеу тігісінің нысанына (сулау және ену) маңызды әсер етеді. Бұл доғадағы қуаттың таралуын, сондай-ақ балқыту және дәнекерлеу кезінде болатын тотығу-қалпына келтіру реакцияларының нәтижесінде пайда болатын шлақтың физикалық сипаттамаларын өзгертеді. Сондықтан, оның құрамына байланысты флюс бұрыштық жіктерді дәнекерлеу, жоғары жылдамдықты дәнекерлеу немесе көп электродты дәнекерлеу үшін жақсы бейімделуі мүмкін. Дегенмен, таза металлургия тұрғысынан флюстің негізгі сипаттамалары осы сым үшін балқытылған металдағы оттегінің және диффузиялық сутегінің құрамын анықтайды.

Барлық заманауи дәнекерлеу өнімдерін өндірушілер осы уақытқа дейін алғашқы ұсынылған Тулиани формуласын флюс арқылы дәнекерлеу үшін флюстерді жіктеу үшін қолданады [TUL 69]. Бұл формула негізділік индексін есептеуге мүмкіндік береді, олардың негізгі сипатына сәйкес ағынның құрамдастарын ажыратады: қышқыл, амфотерная немесе бейтарап:

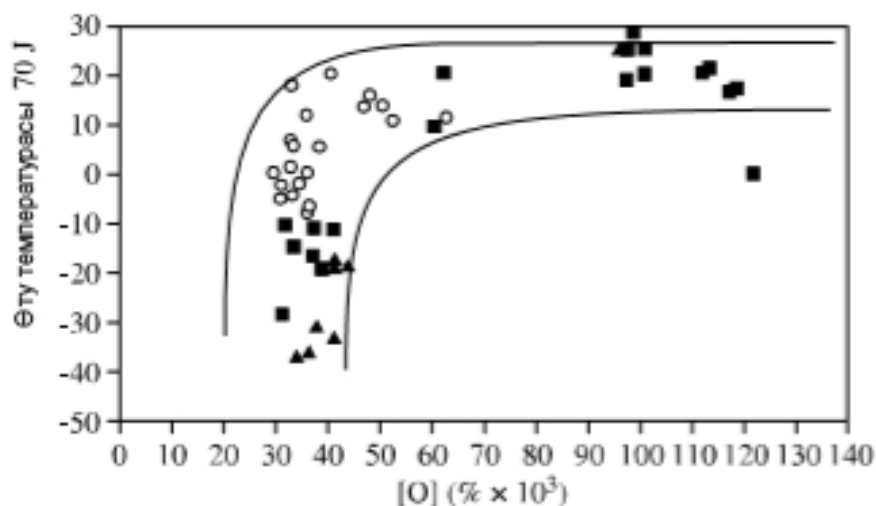
$$BI = \frac{[CaO] + [MgO] + [BaO] + [SrO] + [Li_2O] + [Na_2O] + [K_2O] + [CaF_2] + \frac{1}{2}([FeO] + [MnO])}{[SiO_2] + \frac{1}{2}([Al_2O_3] + [TiO_2] + [ZrO_2])}$$

мұнда $[AxBy] = Ax By$ ағын құраушысының массасы бойынша пайыздық мазмұны.

Тулиани және басқалары шөгінді металдағы оттегінің мөлшері 1,5-ке дейін өсіп, 280-300 ч/млн-ға жуық тұрақтанғанда азайғанын көрсетті. (5.5-суретті қараңыз). Соңғы нәтижеге сәйкес, балқытылған металдың сипаттамаларын оңтайландыруды іздестіру кезінде негізділік индексі айтарлықтай жоғары ағынға жүгінудің қажеті жоқ.



Сурет 5.5. Балқытылған металдағы оттегінің құрамы мен флюстің негізділігі арасындағы байланыс; [EAG 78]



Сурет 5.6. 70 Дж сәйкес өту температурасы мен флюспен дәнекерлеуде оттегінің құрамы арасындағы байланысы; [ТАУ 75]

Сонымен қатар, белгілі бір үзілу энергиясының мәніне сәйкес келетін температураның өзгеруі (70 Дж-ға 5.6-сурет), оттегінің құрамына байланысты дәнекерленген тігістердің көп мөлшерін соққымен сынау кезінде өлшенген, 400-450 сағ/млн оттегі асқанда бұл температура әрдайым жоғары. Керісінше, төмен мәндерден тұратын нәтижелерге қатысты өте үлкен сәйкессіздік пайда болады. Бұл оттегінің құрамы, қосу жылдамдығының жетілмеген көрсеткіші, жоғары жылдамдық кезінде ауысу сипаттамасы үшін осында таңдалған мәнге өте жақын үзілудің пластикалық энергиясын анықтайды. Екінші жағынан, 5.6-сурет өте үлкен шашырау 400-450 сағ./млн. төмен оттегі құрамы үшін бұл фактор анықтаушы емес екенін көрсетеді, өйткені микроқұрылым пластикалық/ мортты ауысуды реттейді.

Флюстің екінші қасиеті, металлургиялық деңгей үшін іргелі, ол бақылайтын шөгінді металдағы сутегінің құрамы болып табылады. Түйіршіктелген флюстерге келетін болсақ, жабық электродтар үшін бұрын көрсетілген:

- ағынның ылғалдылығы мен диффузиялық сутегі арасындағы әмбебап байланыс жоқ;

- осы ағын үшін ылғалдылықтың өзгеруі ылғалды дәнекерлегеннен немесе жинағаннан кейін қалдық ылғалдылықтың өзгеру нәтижесі болып табылатындығына байланысты ылғалдылық пен сутегі арасындағы екі түрлі ара қатынас бар;

- сутегінің төмен деңгейіне жету үшін құрамында кристалданған су бар шикізатты іріктеу және суды барынша төмен температурада бөлу қажет;

- аралас байланыстырғыштарды пайдалану, яғни натрий, калий, литий, ылғалдың сіңірілуін азайтуға мүмкіндік береді;

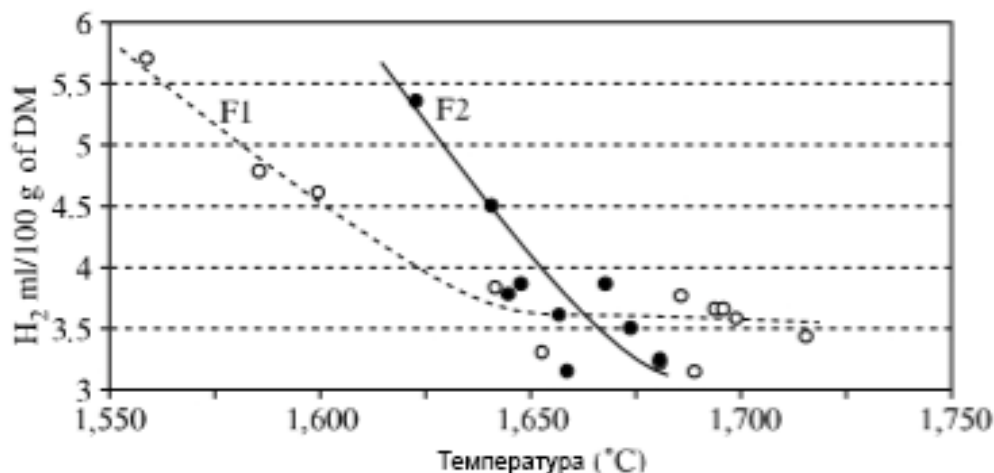
- флюсті күйдіру температурасының жоғарылауы балқытылған металдағы диффузиялаушы сутегінің мөлшерін төмендетуге мүмкіндік береді.

Алайда, флюс сутегінің өте төмен деңгейін анықтау арқылы үйлеспейтін пайдаланушылық дәнекерлеу талаптарын қанағаттандыруы тиіс екенін естен шығармауымыз керек. Мұндай мәселелерді тудырмау үшін, кейбір негізгі ағындар өте жоғары температурада күйдірілмейді, содан кейін карбонаттардан тұратын доға маңында бұзылып, газ қуысындағы сутегінің парциалды қысымын төмендетуге және сол арқылы балқытылған металға сутегінің тасымалдануын азайтуға мүмкіндік береді.

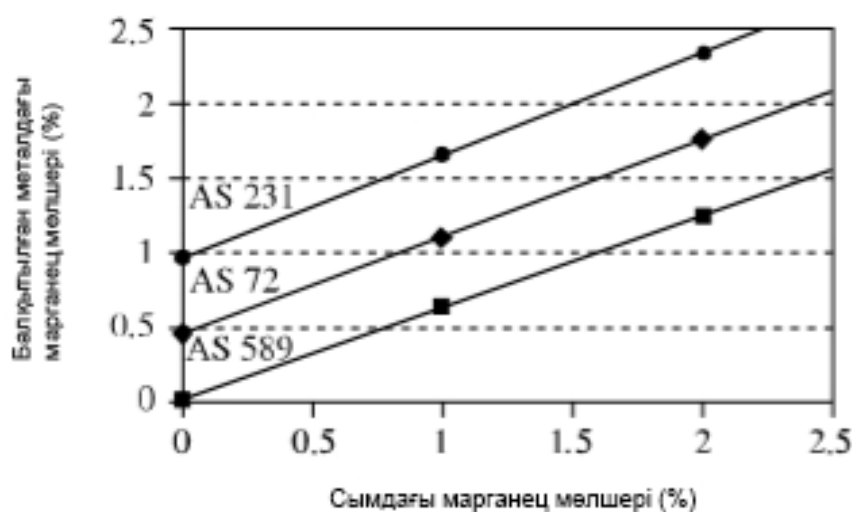
Флюстер қосылған жағдайда диффузиялаушы сутегінің құрамына әсер ететін факторлар түйіршіктелген флюстерге қарағанда аз, тіпті осы флюс формуласы үшін ылғал мөлшері аз корреляция жасау мүмкін емес. Бұл ылғалдылықты өлшеу әдетте 950 немесе 1000°C кезінде жүргізіледі, ал құйма флюстерді дайындау 1500 немесе 1600°C дейін сұйық күйде флюсті алуды қамтиды. Ұлғалдылықты өлшеу флюстегі судың құрамын анықтай алмайды, себебі ол құйма флюстерді дайындау температурасына қарағанда жоғары температурада ғана бөлінеді. Іс жүзінде, флюстің әрбір құрамы үшін оны өндіру

температурасы мен балқытылған металдағы диффузиялаушы сутегінің құрамы арасында қатаң корреляция байқалады (5.7-сурет).

Диффузиялаушы сутегінің төмен мөлшері конденсацияланған ағындармен байланысты емес; керісінше, ылғал атмосферадағы ағынның әсері үлкен мәнге ие болмайды, бұл оны пайдалану алдында қабылдануы қажет (сақтау шарттары немесе қыздыру шарттары және т. б.).



Сурет 5.7. Кальций силикатынан жасалған екі балқытылған флюспен тұндырылған металдағы диффузиялаушы сутегінің құрамына өндіріс температурасының әсері



Сурет 5.8. As 231 және as 589 гранулярлы ағындарды марганецті тасымалдау және AS 72 балқытылған ағыны (SAF деректері)

Қорытылған және түйіршікті ағындар үшін ескерілетін соңғы сипаттама доғадағы қоспалаушы элементтерді тасымалдаудан тұрады. Ағын доға атмосферасын және онда болатын химиялық алмасуды анықтайды: балқытылған металл талдау пайдаланылатын сымды талдау болып есептелмейді. Көбінесе біз кремнийдегі байытуды байқаймыз, ал марганец мөлшері пайдаланылатын флюске байланысты сымға қарағанда жоғары немесе төмен болуы мүмкін (5.8-суретті қараңыз). Бұл сапа стандарты емес, бірақ өнім беруші ұсынған химиялық тасымалдың осы сипаттамалары флюс үшін қолайлы сымды таңдау алдында назарға алынуы тиіс немесе дәнекерленген тігіс үшін талап етілетін қасиеттермен өрнектелуі қажет.

5.3 Дәнекерлеу газдары

5.3.1 Инфузиялық электродпен газ ағынының астындағы дәнекерлеу процестері

TIG (вольфрам инертті газ) және плазмалық үдерістер катод ретінде вольфрам электродын пайдаланады. Вольфрам тотығатын материал болғандықтан, вольфрам оксиді төмен температурада сублимацияланатындықтан, ВИГ үшін қорғау газы және плазмалық дәнекерлеу үшін плазмалық газ құрамында оттегі де, CO_2 де болмайды. Сонымен бірге азот мөлшері металлургия тұрғысынан қарағанда көп болса да, электродтың қызмет ету мерзімін бұзбау үшін 2%-дан төмен деңгейде болуы тиіс (мысалы, дуплексті тоттаспайтын болаттарды дәнекерлеу кезінде).

Сонымен, неон, ксенон және криптон сияқты сирек және өте қымбат газдар, осы үдерістермен байланысты қоспалар үшін жалғыз газдар аргон, гелий, сутегі және азот бұрын көрсетілген шектерде пайдалануға болады.

- Аргон мен гелий бейтарап газдар болып табылады және дәнекерлеуге ұшырайтын кез келген материалдар үшін пайдаланылуы мүмкін, бірақ олардың физикалық сипаттамалары оларға дәнекерлеу кезінде ерекше әсер береді:

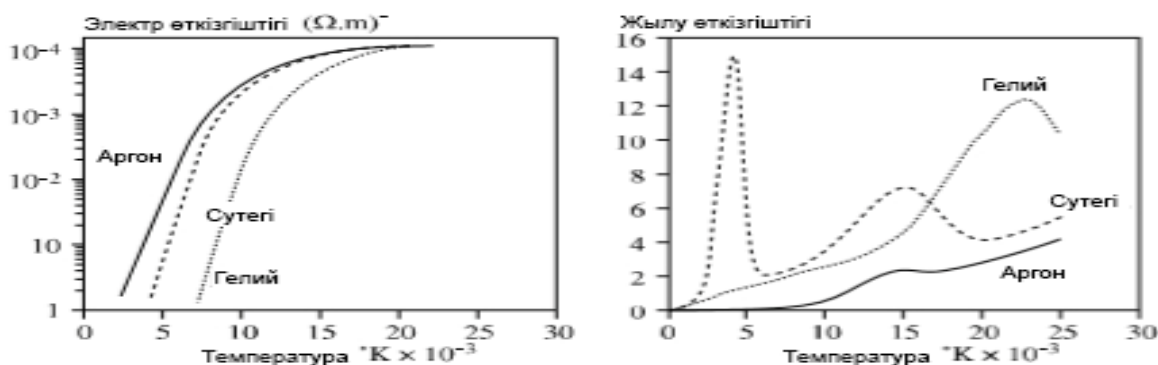
- аргонның гелийге (тиісінше 15,7 және 24,5 эВ) қарағанда ионданудың әлдеқайда төмен әлеуеті және әлдеқайда жоғары электр өткізгіштігі бар (5.9-суретті қараңыз). Нәтижесінде доғаны теңшеу және оны аргон арқылы тұрақтандыру токпен берілген ұзындықтың доғасы аргон астына қарағанда әлдеқайда оңай (жоғары кернеу);

- гелийдің жылу өткізгіштігі аргонға қарағанда әлдеқайда көп. Осылайша, гелий астындағы доға бірдей ток кезінде аргон астына қарағанда ашық болып табылады және жиектерді сулауға ықпал ете отырып, жиналатын бөлшектердің деңгейінде төмен жылу градиентіне әкеп соқтырады.

- Сутегі-бөлме температурасында екі қабатты газдан тұрады. Температура жоғарылаған кезде, ол алдымен атомдық күйге, содан кейін иондалған күйге ауысады, бұл 5.9-суретте жылу өткізгіштігінің екі шыңымен берілген, ал басқа газдар тек иондау шыңын көрсетеді. Бұл сипаттама доғалы дәнекерлеу үшін өте маңызды салдары бар:

- қорғаныс газының сутегі молекуласы доға бағанасының шеткі айналасында ыдырап, энергияны сіңіреді, бұл жергілікті температураны төмендетеді және доғаның тарылуын тудырады;

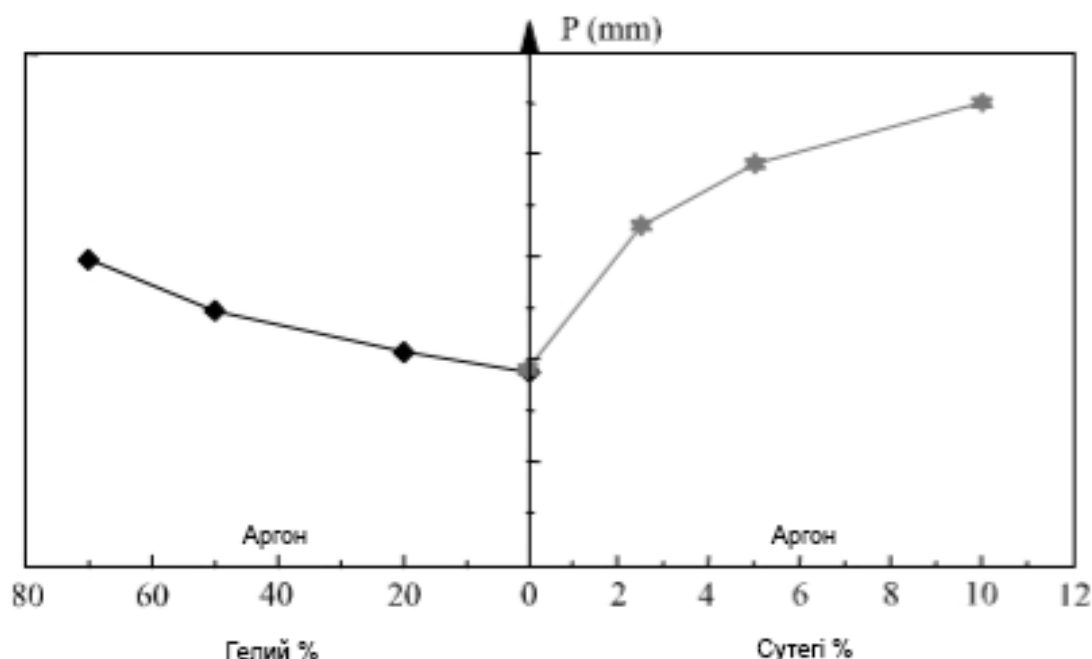
- доғада болатын атомдық сутегі «суық» аймақтарда, яғни дәнекерлеу ваннасы және т.б. деңгейінде кейбір энергия бөлінгенде ұсынылады.



Сурет 5.9. Температураға байланысты әртүрлі газдардың электр өткізгіштігі және жылу өткізгіштігі; [BOU 83]

Доғаның тарылуы қуат тығыздығын арттырады, демек, енуді арттырады, өйткені дәнекерлеу ванналарында сутегі атомдарының рекомбинациясы энергия беруді жақсартады және дәнекерлеу үдерісінің тиімділігін арттырады (5.10-суретті қараңыз). Нәтижесінде, осы электр қуаты мен қалыңдығы үшін екі әсердің комбинациясы таза аргон

немесе аргон-гелий емес, аргон-сутегі қоспасын пайдалана отырып, ВИГ дәнекерлеу жылдамдығын немесе плазмалық үдерісті едәуір арттыруға мүмкіндік береді.

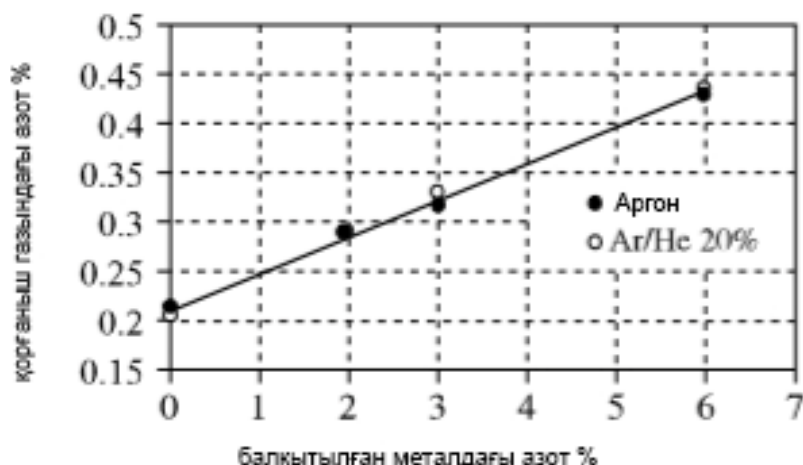


Сурет 5.10. ВИГ дәнекерлеу кезіндегі енуге қорғау газының әсері (болат 316L: $I=200$ А; электродтан бұйымға дейінгі қашықтық=2 мм; дәнекерлеу жылдамдығы 20 см/мин.

Осылайша, ВИГ дәнекерлеу немесе плазмалық дәнекерлеу кезінде негізгі газ аргон болып табылады, бірақ қолайсыз металлургиялық әсерлердің болмауына байланысты аргон-сутекті қоспаларды пайдалану тиімді болады. Бұл дәнекерлеу жылдамдығын немесе өту қалыңдығын арттыруға мүмкіндік береді, бұл екі жағдайда да өнімділіктің айтарлықтай артуына әкеледі. Ar-He-H₂ үштік қоспасын пайдалану дәнекерлеу жылдамдығын одан әрі арттыра алады, ал гелий білікшені сулауға мүмкіндік береді.

Металлургиялық үйлесімсіздік, мысалы, алюминий қорытпалары қатайған кезде сутегі ерігіштігінің елеулі өзгеруін білдіретін қорытпалары бар дәнекерленген тігісте кеуектіктің пайда болуының нәтижесі болуы мүмкін. Бұл ТӨА немесе балқытылған металда пластикалық емес құрылымды жасау үшін жеткілікті «шыныққан» кезде ферритті болаттардың суықтай жарылу қаупімен байланысты болуы мүмкін. Бұл соңғы қауіп мұқият есептелуі тиіс, өйткені балқытылған металға тасымалданатын диффузиялаушы сутегінің құрамы пайдаланылатын газ қоспасындағы сутегінің құрамына байланысты, бірақ аргонда 3% сутегінің құрамы кезінде 5 мл/100 г төмен қалады. Екінші жағынан, аустенитті тот баспайтын болат немесе никель қорытпаларын дәнекерлеу үшін кем дегенде 5% сутегі бар қоспаларды пайдалана аламыз.

Қондырмалы сым ВИГ дәнекерлеу немесе плазмалық дәнекерлеу кезінде пайдаланылса, сұйықтық ваннадан сәл жоғары болады. Содан кейін доғаның шеткері балқытылады және тамшылар доға бағанасының ортасында жеткен өте жоғары температуралардың әсеріне ұшырамастан, дәнекерлеу ваннасына бір-бірінен кейін бірі енгізіледі. Демек, балқытылған металл мен қондырма сым арасындағы аналитикалық айырмашылық аз, дуплексті және супердуплексті болаттарды дәнекерлеу кезінде азоттың жоғалуына қатысты жалғыз елеулі өзгеріс туындайды. Азоттан тұратын дәнекерлеу газын пайдалану балқытылған металдың құрамын реттеуге мүмкіндік береді және дәнекерленген тігістің коррозиялық тұрақтылығын арттыруға мүмкіндік береді (5.11-суретті қараңыз).



Сурет 5.11. Қорғағыш газдағы азот құрамының функциясы ретінде балқытылған металдағы азот құрамы (ВИГ дәнекерлеу); супердуплексті сым; сымдағы азот: 0,25%

5.3.2 Балқитын электродпен газ ағыны арқылы дәнекерлеу үдерістері

Балқымалы сыммен (GMAW) дәнекерлеу кезінде пайдаланылатын газ қоспалары доғаның тұрақтылығына, металды сымнан дәнекерлеу ваннасына тасымалдау режиміне және білікше пішініне әсер етеді. Сонымен қатар доғаның химиялық алмасуын анықтайды, демек, осы сыммен тұндырылған металл талдауын білдіреді.

Операциялық аспектілер

Доғаның тұрақтылығы доғаны сақтау үшін катодтан электрондарды оңай алуға байланысты. Дегенмен, MIG/MAG дәнекерлеу кезінде жиналған бөлшектер катодты құрайды. Сондықтан, бұл металлургиялық жағынан қолайлы, термоэлектрондық эмиссияға ықпал ететін доға алдында жұқа оксидті жабынды құру үшін тотықтырғыш газдардың қоспаларын пайдаланады [JON 95].

Металл тасымалдау қолданылатын параметрлерге байланысты түрлі формаларды қабылдай алады:

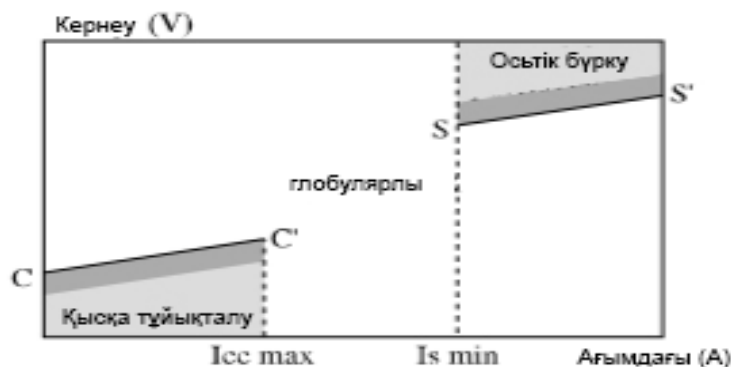
- аз дәнекерлеу тогы кезінде, яғни сымдардың төмен жылдамдығы бойынша металды сымнан дәнекерлеу ваннасына тасымалдау қысқа тұйықталу арқылы (қысқа доға режимі) жүзеге асырылады. Доға кезеңдері сым соңында пайда болған тамшы дәнекерлеу ваннасымен байланысқа кіретін кезеңдермен үзіледі. Осы фаза кезінде доға өшеді, және ток айтарлықтай өседі, бұл электромагниттік күштердің көмегімен алдымен балқытылған металдың тамшының жоғарғы бөлігінде үйкелуін, содан кейін оның үзілуін тудырады. Доға қалпына келтірілуі мүмкін және үдеріс қайтадан басталды;

- жоғары токтарда (сым берудің жоғары жылдамдығы) металды тасымалдау осьтік тозаңдату (шашырау доғасы) арқылы жүзеге асырылады. Сымның соңы конус пішінін қабылдайды, оның нүктесінен ұсақ тамшылар сым осіне жіберіледі, содан кейін дәнекерлеу ваннасына ауыстырылады. Ток жоғары болса, тамшылар аз және олардың жылдамдығы жоғары болады;

- аралық токтардағы беріліс глобулярлық ретінде белгілі. Сымның соңында пайда болатын тамшылар сым диаметрінен айтарлықтай асатын диаметрге жеткенге дейін ұлғаяды және қысқа тұйықталу пайда болғанға дейін кездейсоқ ажыратылады. Бұл режим салыстырмалы түрде тұрақты емес, үлкен шашыраудың көзі болып табылады.

Осылайша, дәнекерлеу тогы беру режимінің анықтаушы факторы болып табылады. Дегенмен, қысқа тұйықталу немесе осьтік шашырау арқылы тасымалмен үйлесімді ток үшін кернеуді реттей отырып, жаһандық тасымалды алуға болады (төмен токтарда өте жоғары кернеу немесе жоғары токтарда өте төмен кернеу).

5.12-суретте көрсетілгендей, көбінесе $U=f(I)$ диаграммада әр түрлі тарату өрістері ұсынылуы мүмкін.



Сурет 5.12. MIG/MAG дәнекерлеу параметрлері бойынша металды тасымалдау режимдері

Бұл суретте келесі сәттерді атап өту керек:

– максимумға сәйкес келетін ток $I_{cc\ max}$, қысқа тұйықталу бойынша ауыстыру орындалады;

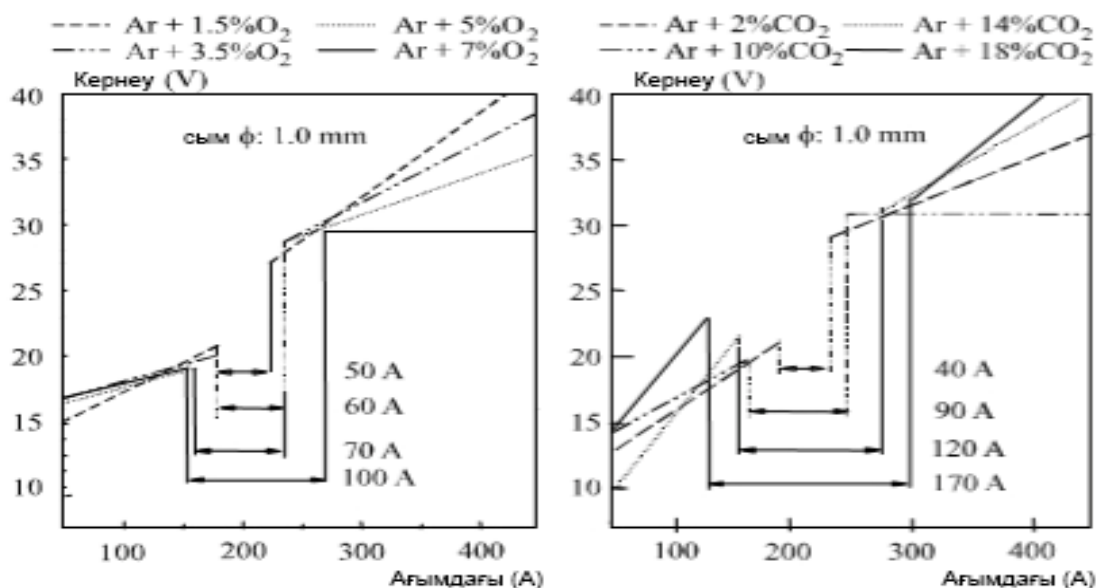
- CC ' оң жақ сегменті, ол кернеудің максималды мәнін анықтайды, бұл беріліс түрін рұқсат етеді; іс жүзінде дәнекерлеушілер кернеуді осы максимумнан сәл төмен мәнге дейін реттейді (көлеңкеленген аймақты қараңыз);

- ток $I_s\ min$. Осытік шашырау арқылы тасымалдауға қол жеткізу арқылы минимумға сәйкес келеді;

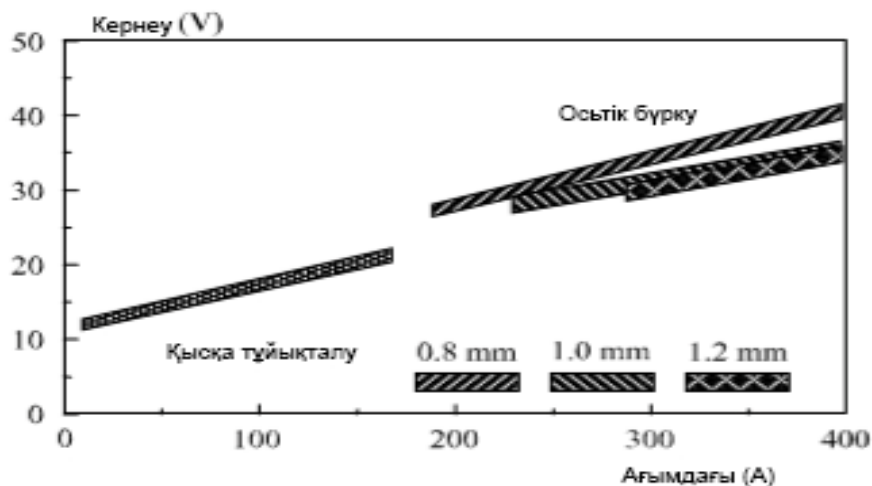
- SS 'сегменті осытік шашырау арқылы тасымалданатын ең аз кернеуді көрсетеді, көбінесе дәнекерлеушілер сәл жоғары мәнмен жұмыс істейді;

– $u=f(I)$ диаграммадағы осы тасымалдау өрістерінің дәл шектері сым/газ осы комбинациясына тән. Олар қорғау газының сипатына байланысты, сонымен қатар пайдаланылатын сымның диаметріне де қатысты өзгереді: кез келген CO_2 және/немесе аргонға оттегінің қосылуы I_{cc} кемуі және I_s ұлғаюы есебінен шар өрісінің мөлшерін арттырады (5.13-суретті қараңыз), сондықтан CO_2 құрамы аргонда 50%-дан асқан кезде ол осытік ұсақтау жолымен металл тасымалын алу мүмкін емес.

Сонымен қатар, сым диаметрінің өсуі I_s , I_{cc} токтың ұлғаюын тудырады, іс жүзінде өзгеріссіз қалады (5.14-суретті қараңыз).



Сурет 5.13. MAG дәнекерлеу кезіндегі аргондағы O_2 және CO_2 құрамының шар өрісінің өлшеміне әсері (ER70S 3; I 1 м сым; түйіспелі түтіктен бөлшекке дейінгі қашықтық 15 мм.)

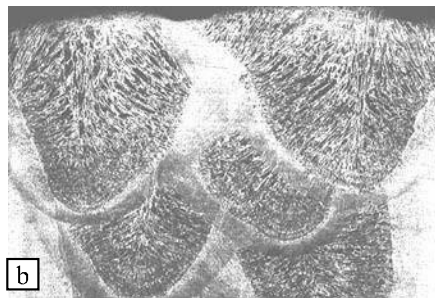


Сурет 5.14. MAG дәнекерлеу кезіндегі ауыспалы өрістерге сым диаметрінің әсері (сым ER70S 3; газ: $Ar + 3\% O_2 + 1\% O_2$; түйіспелі түтікше мен түйіспе / бөлшек арасындағы қашықтық, 15 мм)

Осы үш негізгі өріске қосымша дәнекерленген тігістер байланыс түтіктен бөлшектерге дейін үлкен саңылаумен орындалған кезде (>25 мм) өте үлкен токтардағы режимге ие болады, онда беріліс айналмалы (айналмалы ағысты беру немесе айналмалы ағыс) болып табылады [LES 58, USC 93]. Дәнекерлеу тогының белгілі бір мәнінен басқа, сым электродының соңында пайда болатын конус электромагнитті күштердің әсерінен иілу және айналу үшін жеткілікті ұзын және иілгіш болады.

Ток жоғары болған сайын, қисық соғұрлым жоғары және тіпті 90° дейін жетуі мүмкін, сондықтан конус ұшының бағытына сәйкес тасталатын балқытылған металдың тамшылары көп шашырауды тудырады. Бұл беріліс түрі бұрыннан тиімсіз деп саналады; дегенмен, қисық аз болса да, бұл түйіршіктер мен ықшамдылықтың жақсаруына әкелуі мүмкін, өйткені ол ену түрімен тығыз байланысты.

Ену түрі металды тасымалдау режимімен тікелей байланысты. Қысқа тұйықталу немесе шар тәрізді формада линзалық ену байқалады, ол жай ғана жылу бетінен таралу заңдарымен түсіндіріледі. Екінші жағынан, тасымалдау осьтік ұсақтаумен жүзеге асырылған кезде ену өткірлене түседі. Бұл сым осі бойынша үлкен жылдамдықпен қозғалатын тамшылар соққы нүктесінде сұйық ваннаның депрессиясын тудырады және борт түбіне қарай жылу беретін қозғалыс тудырады. Қолғап саусағының пішініне ұқсас қатаю жылдамдығы біліктің қалған бөлігіне қарағанда әлдеқайда жоғары және ол өте терең болған кезде жоғары дәнекерлеу нүктелерінде күлдіреу сияқты жинақылықтың кемшіліктерін байқаймыз (5.15-сурет). Екінші жағынан, көбінесе өте жоғары пайдаланылатын токтарға қарамастан, айналмалы тасымалдау режимі нақты түйіршіктердің пайда болуына әкеледі, өйткені дәнекерлеу ваннасындағы тамшылардың әсері үнемі өзгереді, сондықтан қатаюдың жоғары жылдамдығын білдірмейтін дөңгелек немесе тіпті тегіс ену анықталады.



Сурет 5.15. Металл тасымалдау режиміне байланысты үлкен токтарда жасалған шариктердің морфологиясы мен жинақылығы: а) осьтік шашырату арқылы тасымалдау; б) айналмалы беру

Жоғарыда сипатталған әр түрлі өрістер сым электродындағы токтың тығыздығына, доғаның ұзындығына (кернеуіне) және оның атмосферасына байланысты металды тасымалдау режиміндегі табиғи өзгерістерге сәйкес келеді; дәнекерлеу үшін қарапайым кернеу генераторы қолданылады. Бұл дәнекерлеушінің кейбір мәселелерін тудырады, себебі бұл табиғи беру режимдері қолданылатын энергиямен тығыз байланысты, ол іс жүзінде дәнекерлеу жағдайына және болжамды байланыс түріне қарамастан таңдалмайды.

Осылайша, осьтік шашырау режиміне сәйкес келетін ток тік немесе жоғарғы жағдайларда дәнекерлеу үшін пайдаланылмайды, себебі дәнекерлеу ваннасы тым үлкен болады және бұзылуы мүмкін. Осылайша, біз шарлы режимде дәнекерлеуді орындауға және тұрақсыз тасымалды және онымен байланысты шашырандыларды қабылдауға тиіспіз, бірақ қысқа доға режимінде тоқ пен дәнекерлеуді азайту есебінен өнімділікті айтарлықтай төмендете алмаймыз. Бұл кемшіліктерді оңтайландыру үшін және белгілі бір дәрежеде металл тасымалдау режимін ток пен дәнекерлеу кернеуінен ажырату үшін кейбір генераторлар тоқ өте тез және дәл тәсілмен тұрақты бақылайтын электрониканы пайдаланады, сондықтан тамшылардың тасымалдануы тіпті орташа дәнекерлеу тогы мен кернеудің орташа мәндері үшін реттелетін және бақылануы мүмкін. Бұл импульстік режим деп аталады. Әрбір орташа ток және сым беру жылдамдығы ток пен уақыттың базалық мәнімен, ток пен уақыттың шекті мәнімен, сондай-ақ жоғары және төмендеу көліктерімен сипатталады. Ең жоғары ток осьтік шашырауға жол беретін ең төменгі токпен жоғары болуы тиіс (5.12-сурет), қалған параметрлер әрбір циклда сымнан дәнекерлеу ваннасына тек бір ғана металл тамшы тасымалданатындай етіп бағдарламаланады. Бұл импульстік режимнің әр түрлі параметрлері арқылы бағдарламаланатын сым/газ комбинациясына жақсы бейімделеді. Сымның/газдың әрбір комбинациясы оған тән берілістің «табиғи» сипаттамасына ие екендігін еске түсірейік.

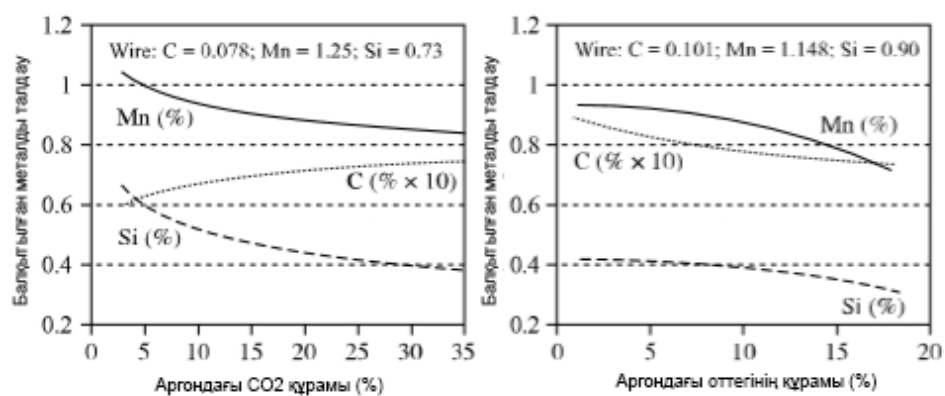
5.12-суретте көрсетілгендей, жылдам басқару электроникасымен жабдықталған генераторлар, сондай-ақ Ісс асатын орташа ток мәндері үшін қысқа тұйықталу кезінде беру режимін сақтай алады. Бұл өте қысқа доғаны сақтай отырып, қозғалыс жылдамдығына бейімделген желілік энергияны қолдануға болады, өйткені «табиғи» немесе импульстік доғаға қарағанда аз ықтималдықпен тоқтайды.

Химиялық аспектілер: балқытылған металдың талдауы балқытылған сыммен газ ағынында дәнекерлеу кезінде сым электродының талдауына қатыстыбірдей болмайды,себебі оны доға бойынша тасымалдаған кезде үстіңгі бетінде металл тамшылары қайнау нүктелеріне дейін жетеді. Осылайша, ұшатын элементтер басқа элементтерге қарағанда неғұрлым қарқынды буланады, бұл олардың дәнекерлеу газдарында үлкен мөлшерде анықталатынын түсіндіреді,бірақ қоспалы сымға қарағанда балқытылған металда аз таралған. Бұл болат марганец үшін, 5000 сериялы қорытпалардағы магний немесе жездегі мырыш үшін әділ.

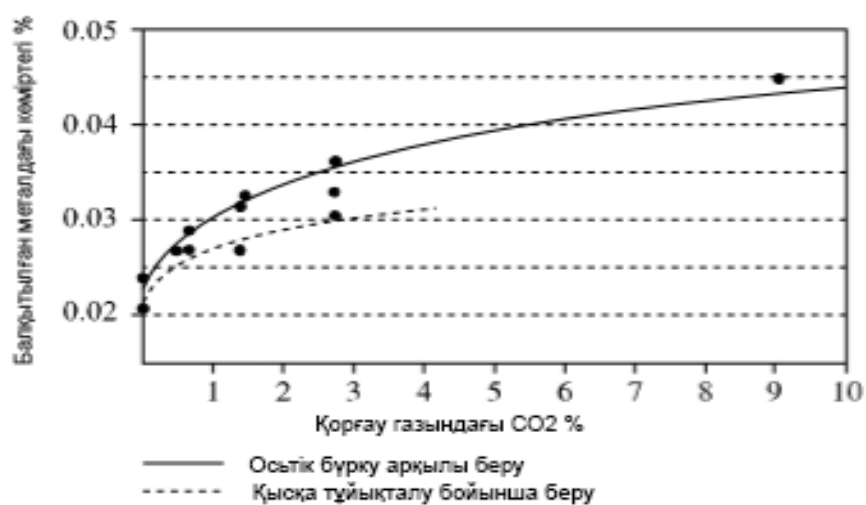
Фракциялық айдауға қосымша және дәнекерлеу атмосферасына қарамастан, химиялық реакциялар, әсіресе тамшылар деңгейінде, қорғаныс газының тотығуға қабілеттігі бар. Бұл тотығу қабілеті жоғары болған сайын, балқытылған металл мен сым арасындағы аналитикалық тербелістер соғұрлым көп және тотығатын элементтер (Si, Mn, Al, Ti және т.б.)

Шарлардың бетінде шлак түрінде кездеседі (5.16-сурет). Сонымен қатар балқытылған металдағы оттегі мөлшері және қосу жылдамдығы артады.

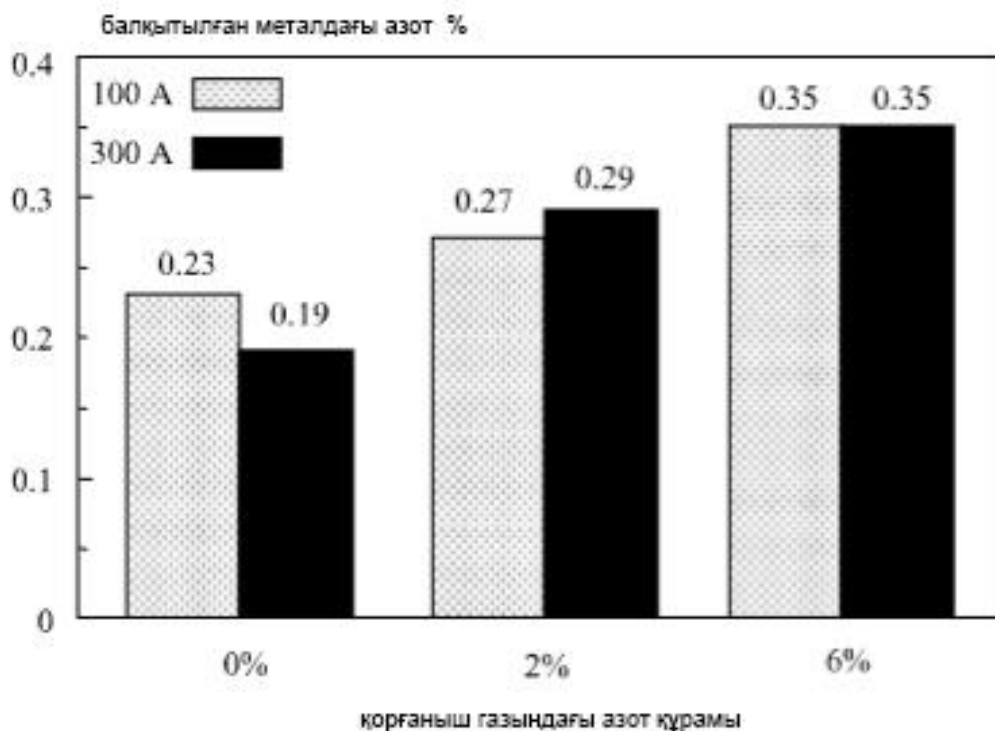
Дәстүрлі Халықаралық дәнекерлеу институты қорғау газының тотығу қуаты ондағы оттегі құрамының және CO₂ құрамының жартысына тең деп санайды (IIS XII-543-77 құж.). 5.16-суреттегі екі график бұл тәсіл өте жақын екенін көрсетеді, себебі марганец пен кремнийдің шығындары аргон-оттегі қоспаларын және аргон-CO₂ қоспаларын салыстыру кезінде IIS-ді ұсынғаннан әлдеқайда көп. Сонымен бірге сымдағы көміртегінің пайыздық құрамына және қорғағыш газдағы CO₂-ге байланысты, оның тотығу әсеріне қосымша көміртекті күйдіру немесе көміртекті күйдіру әсері байқалатын болады. Осылайша, егер сымдағы көміртегінің пайыздық құрамы 0,07%-дан төмен болса және осы мәннен жоғары көміртекті болса, аргон + 18% CO₂ қоспасы көміртекті болады; сол себепті бізде қорғау газында 1,5% CO₂ артық болмауы керек, сондықтан аустенитті тот баспайтын болаттан жасалған дәнекерленген жіктің төмен көміртекті сипаттамасын (<0,03%) сақтау қажет (5.17-сурет).



Сурет 5.16. Қорғағыш газдағы CO_2 және оттегінің құрамына сәйкес химиялық тасымалдар



Сурет 5.17. Қорғау газындағы CO_2 құрамының тасымалдау режиміне байланысты балқытылған металдағы көміртегінің пайыздық құрамына әсері (ER308LSi сымы $\text{C}=0,18\%$)



Сурет 5.18. Қорғағыш газдағы азот құрамының балқытылған металдағы азот құрамына әсері (МИГ дәнекерлеу); жоғары дуплексті сым ($N=0,24\%$); жіберудіңекі режимі

Сонымен, ММА дәнекерлеу қатты флюспен дәнекерлеу сияқты дәнекерленген жіктердің химиялық сипаттамалары пайдаланылатын сыммен ғана емес, сым/флюс комбинациясымен де байланысты. Алайда айырмашылық бар. Пайдаланылатын қатты флюске байланысты шөгінділер қоспаланған элементтерге бай болуы мүмкін екенін назарға ала отырып,

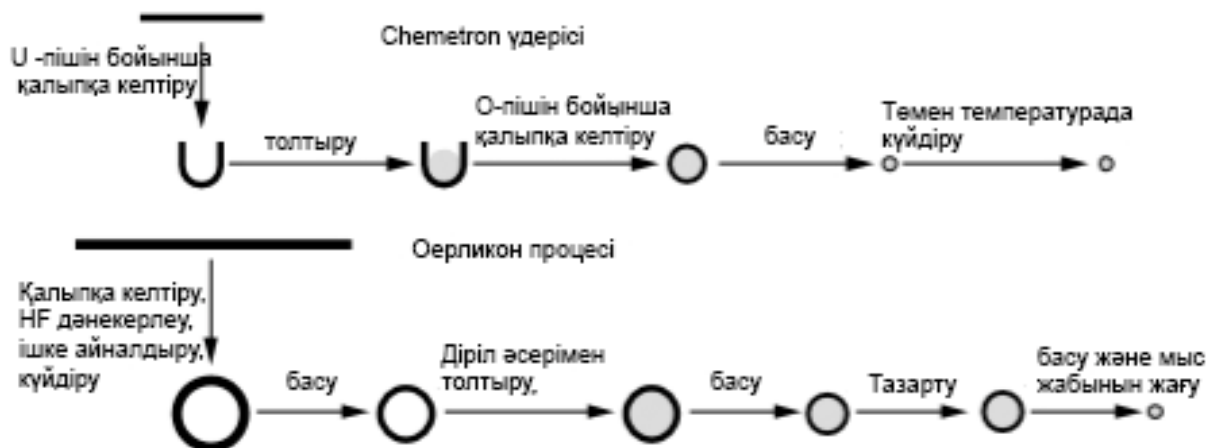
біз бұрын көргеніміздей көміртекті қоспағанда, көбінесе газ тәрізді флюспен дәнекерлеуге бай емес, және азоттың белгілі бір мөлшері қорғаныш газындағы азот арқылы шөгінді металға ауыстырылуы мүмкін (5.18-сурет).

5.4 Ұнтақ сым

5.4.1 Өндірістік үдерістер

Қазіргі таңда сатылған ұнтақты сымдар негізінен 5.19-суретте көрсетілген тәсілмен дайындалады.

Chemetron технологиясы бойынша сымды жасау үшін алдымен U-да қалыптастыратын шағын өлшемді (шамамен 13×1 мм) суық болат шойыннан басталады. Шикізаттың әртүрлі құрамдастарының гомогенді қоспасын ішке салып, O-да пішімдейді, содан кейін қажетті диаметрге дейін созылады. Нәтижесінде, төмен температурада күйдіру сымның әлі де бар қалдық сабынды жою үшін және атмосфералық коррозияға жеткілікті төзімділікті беру үшін оның беттік қабатын сәл тотықтырады.



Сурет 5.19. Ұнтақты сым өндіру үдерістері

Oerlikon технологиясы күрделі. Ол қалыңдығы 2 мм-ден сәл артық, жоғары жиілікпен дәнекерленген, диаметрі 13 мм дейін илектелген, ыстықтай илектелген болат шойыннан бастап, диаметрі 16 мм-ге жуық құбыр дайындаудан басталады. Жұмсарту күйдірумен жүргізіледі, содан кейін құбырларды толтыру диаметріне дейін созады, ол өндірістік ерекшеліктерге байланысты өзгереді.

Содан кейін ұнтақ дірілдеу үстелінде орнатылған салмағы 500 кг түтікшенің секцияларында дірілдеу есебінен көтерілетін болады. Толтырылған түтікті одан кейін аралық диаметрге дейін созады және осы кезеңде ол мыспен жабылатын оның түпкілікті диаметрін созар алдында рекристаллизациялық термоөңдеуге ұшырауы тиіс.

Осылайша, Oerlikon технологиясы тұтас және пайдаланылатын тығыздалған мыс сымдарын өндіруге мүмкіндік береді. Бұл ұнтақты сымдар ылғалды мүлдем өткізбейтін және 2-ден 3 мл/100 г балқытылған металл құрайтын диффузиялық сутегі деңгейлерінен тұрады. Бұл құбыр ішінде рекристаллизациялық күйдіру кезінде түтікті қабық арқылы шығатын сутегінің бөлінуімен химиялық реакциялардың орын алуына байланысты. Дегенмен, бұл процесс дірілді толтыру кезінде сегрегацияны болдырмау үшін силикат арқылы ұнтақты алдын ала түйіршіктеуді көздейді. Сонымен бірге түйіршіктелген ұнтақтар түтікке жағылған рекристаллизацияны өңдеуге байланысты жағымсыз өзгерістерге қатыссыз жоғары температураға тезуі тиіс.

Мұндай шектеулер Chemetron процесімен жоқ. Дәнекерлеу кезінде жағымсыз жанама әсерлері болуы мүмкін ұнтақтарды түйіршіктеудің немесе силикатты енгізудің қажеті жоқ, немесе тіпті бұл жағдайда төмен температурада жүргізілетін термиялық өңдеу кезінде компоненттердің ыдырауы мүмкін. Сонымен қатар, бұл технология жоғары толтыру жылдамдығы бар сым жасауға мүмкіндік береді (ұнтақ массасының сым массасына қатынасы) және нәтижесі ретінде осы дәнекерлеу тоғы үшін тұндыру жылдамдығы жоғары. Екінші жағынан, Chemetron сымдары дәнекерленбеген болғандықтан, олар олардың құрамына байланысты ылғалға көп немесе аз ұшырайды және сондықтан сақтау және пайдалану кезінде көбірек сақтық шараларын талап етеді.

5.4.2 Ұнтақты сым типтері

Екі технология қорғаныс газымен пайдалануға арналған ұнтақты сымдардың барлық түрлерін жасауға мүмкіндік береді, газсыз ұнтақты сымдар тек Chemetron технологиясы арқылы ғана өндіріледі.

Толтырғыш ұнтақтардың табиғатына байланысты қорғаныс газы бар ұнтақты сымдардың үш түрін анықтауға болады: рутил жабыны бар ұнтақты сым, негізгі ұнтақты сым және металл ұнтақты сым. 5.2-кестеде ұнтақты сымның осы түрлерінің негізгі компоненттері, сондай-ақ олардың эксплуатациялық және металлургиялық салдары көрсетілген. 5.1-кестемен салыстырғанда электродтарға қатысты біз ұнтақты сымдар мен бір типті электродтар арасындағы үлкен ұқсастықты көреміз, сонымен қатар металл емес

компоненттер мен эксплуатациялық және металлургиялық салдарлар тұрғысынан кейбір маңызды айырмашылықтарды көреміз.

Кесте 5.2. Қорғағыш газы бар ұнтақты сымдардың негізгі құрамдастары мен сипаттамалары

Сымның типі		Рутилдік	Негізгі	Металл
Негізгі компоненттер	Металл емес	TiO ₂ , Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , Иондаушы элементтер	CaF ₂ , MgO, Карбонаттар және т.б. Иондаушы элементтер	<1% Иондаушы элементтер
	Металл	Қоспаланған элементтер Қышқылдандырғыштар	Қоспаланған элементтер Қышқылдандырғыштар	Қоспаланған элементтер Қышқылдандырғыштар
Салдары	Практикалық	Жұмсақ қорытпа, тұрақты доға, осьтік шашырату арқылы үлкен өріс, тиімді сулау, жеңіл дәнекерлеу.	Қытырлақ доға, Шар берілісі, шашырандылар, Позициядан тыс күрделі дәнекерлеу.	Тұрақты доға, жоғары токпен осьтік шашырату арқылы жіберу.
	Аналитикалық	O: 450 бастап 1,000 ч./млн. дейін Ti: 300 бастап 800 ч./млн. дейін Nb: 100 бастап 300 ч./млн. дейін V: 50 бастап 250 ч./млн. дейін H ₂ Diff: 2 бастап 15 мл/100 г дейін DM	O: 300 бастап 500 ч./млн. дейін Ti, Nb, V: қалаған мәндерге теңшелетін H ₂ Diff: <5 мл/100 г DM	O: 500 бастап 1,000 ч./млн. дейін Ti, Nb, V: қалаған мәндерге теңшелетін H ₂ Diff: 2 до 8 мл/100 г DM

Chemetron технологиясы бойынша жасалған сымдарда доға тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін иондаушы элементтерді қосамыз; бұл Эрликон үдерісіне қатысты маңызды емес, бұл рөлді толтырғыш ұнтақтарын түйіршіктеу үшін қолданылатын силикат атқарады.

Жабық электродтарға қарағанда, қорғаныс газынан тұратын ұнтақ сымдарда жүйелі карбонаттар болмайды, себебі бұл жағдайда қорғаныш газ тамшылардың мен дәнекерлеу ванналарының атмосфералық азотпен және оттегімен ластануын болдырмайды.

Рутил сымдарында целлюлоза немесе электродтағы экструзиялық агенттер сияқты органикалық элементтер болмайды. Осылайша, ұнтақты сым үшін рутилді немесе негізгі сипаттағы балқытылған металдың диффузиялаушы сутегіне әсер етпейді.

Сымдарда рутилді электродтарға қарағанда көп мөлшерде қосылатын күшті қышқылсыздандырғыштарды пайдалануға болады.

Бұл тиімді пайдалану қасиеттерін шөгінді металдағы оттегінің құрамына қатысты 450 ч / млн-ға жуық байланыстыратын формулаларды алуға мүмкіндік береді, яғни олардың негізгі өнімдерден айырмашылығы жоқ.

Ұнтақты сыммен дәнекерлеу кезінде тоқ тығыздығы жабыны бар электродтарды пайдаланумен (диаметрі 1,2 мм сым үшін 120-дан 300 А-ға дейін, диаметрі 3,2 мм электрод үшін 80-ден 120 А-ға дейін) салыстырғанда едәуір жоғары. Бұл рутил сымдары мен ұнтақ сымдары бар металл тасымалдау режимінде осьтік шашырауға қол жеткізуге мүмкіндік береді. Бұл режим өте тұрақты доға және шашырандылардың болмауына әкеледі.

Позициядан тыс дәнекерлеу кезінде осьтік шашырау режимінің кейбір рутилді шлактардың физикалық сипаттамаларымен үйлесуі (балқыту температурасы, тұтқырлық және беттік керілу) барлық қалған сымдарға қарағанда, өзекше немесе қатты денеге қатысты (+50% тік дәнекерлеуде) анағұрлым жоғары өнімділік береді; мұндай өзгеріс рутилді және негізгі электродтар арасында болмайды.

Сымдардың аталған түрлерінің металлургиялық әлеуетін қарастырсақ, негізгі сым ең тиімдісі болып табылады, олардан кейін металл ұнтақты сымдар, содан кейін рутил; екінші жағынан, тікелей қарама-қарсы жіктеу барлық жағдайларда дәнекерлеуге қатысты рутил сымдары үшін өте үлкен артықшылығынан тұратын пайдалану сапасы негізінде қол

жеткізіледі. Сондықтан шамамен 15 жыл бойы әзірлемелер негізінен титан/бор әсерін пайдалана отырып, металл жік микроқұрылымының жақсаруы есебінен рутил сымдарының металлургиялық қасиеттерінің жақсаруымен байланысты болды. Қазіргі таңда негізгі сымдар тек өте жоғары ағымдылық шегінен тұратын (t690 МПа) болатты дәнекерлеу үшін тиімді қолданылады. Нарықтың қалған бөлігі тегіс дәнекерлеуде бағаланатын металл ұнтақты сым арасында бөлінген, себебі олар басқа сымдарға (шлактың болмауы) және барлық жағдайларда дәнекерлеу қажет болған кезде рутилді сымға қарағанда тиімді өнімділікті ұсынады.

5.4.3 Титан/бордың рутил өзекшелеріне қатысты әсері

Бұл әсер өте аз мөлшердегі бордың (көбінесе миллионға қатысты 20-дан 60 бөлікке дейін) салдары болып табылады, бұл дәнекерлеу тігісі салқындатылғанша аустениттік түйіршіктердің шекарасында проэвтектоидты ферриттің пайда болуын едәуір кідіртеді. Осылайша, аустениттің түрленуі негізінен инелі ферриттің қосындылардағы ішкі аймақтық өсуі есебінен болуы мүмкін, олар титан оксидінің үстіңгі аймақтарында қажетті сипаттамаларға ие болған жағдайда жүзеге асырылады.

Дәнекерленген тігіс металының толық химиялық талдауы марганецте жақсы теңдестірілген және, мүмкін, никельде (сондықтан оның қызуы дәнекерлеу тігісіне ұшырайтын термиялық цикл үшін оңтайлы болып табылады), проэвтектоидты ферриттер желісі жұқа жиектеуге түседі, ал қалған бөлігі аустенит инелі ферритке айналады.

Егер молибден қоспасын қосу ықтималдылығы болса, проэвтектоидты ферриттер желісін толығымен жоюға және ине ферриттен тұратын құрылымды алуға мүмкіндік беретін бор/молибден синергетикалық әсеріне қол жеткізіледі.

Кесте 5.3. Ti-B оңтайландырылған әсері бар рутилді сым арқылы қол жеткізілген дәнекерленген жіктердің сипаттамалары

C%	Mn%	Si%	S%	P%	Ni%	Nb%	V%	Ti%	B ч./млн	O ч./млн.	N ч./млн.
0.070	1.39	0.35	0.006	0.007	0.65	0.006	0.008	0.046	40	400	39
Күйі				Дәнекерлеу				Кернеуді алу (580°C/3 сағ)			
Position of the notch				Дәнекерлеу аймақтары		Жастылған аймақтар		Дәнекерлеу аймақтары		Жастылған аймақтар	
Kv – 40°C (Дж): ср.; (мин.)				145 (136)		139 (137)		118 (106)		115 (91)	
Kv – 60°C (Дж): ср.; (мин.)				109 (85)		121 (118)		98 (88)		94 (82)	

5.5 Дәнекерлеу бұйымдарын таңдау

Алдыңғы тұжырымдамаларда айтылғандай, қатты немесе газ тәрізді сым/флюс комбинациясын таңдау ескерілуі тиіс:

- дәнекерлеу алаңында және дәнекерленген жіктің балқытылған металында анықталған химиялық және механикалық сипаттамаларға қатысты өнім берушінің деректері,

- негізгі металдың қосылыс формасы, қалыңдығы және химиялық сипаты.

Стандартты шарттарда жеткізушілердің каталогында үлкен дәлдікпен орындалған шөгінділердің химиялық және механикалық сипаттамалары көрсетілген.

Бұл стандарттар (EN, AWS және т.б.) дәнекерлеу параметрлерін (U, I, Ws), өтпелер арасындағы температураны және алдын ала қыздыру температурасын, өту жолдарының таралуын (бір қабатқа екі өтім сәйкес келеді) және барлық балқытылған металда сипаттама үшін қажетті әртүрлі үлгілердің орналасуын дәл көрсетеді.

Ақпараттың бұл түрі өнімнің тұтастығын тексеру үшін қажет, бірақ жоғарыда айтылғандай, бұл деректер термиялық дәнекерлеу циклі және/немесе негізгі металды сұйылту дәрежесі стандартталған шарттарға қатысы жоқ нақты қосылысты орындау кезінде

алынады.

Сондықтан дәнекерлеу өнімдерін жеткізушілер көбінесе өз өнімдеріне қатысты деректер кестесін жариялайды, олар стандартты шарттарда алынған сипаттамаларға қосымша әр түрлі жағдайларда (жылу жеткізу, сұйылту дәрежесі және т.б.) және әртүрлі болаттармен алынған қосылыстар бойынша нәтижелер береді. Олар сондай-ақ әрбір өнімге тән қосымша ақпаратты ұсынады:

- қолданылатын параметрлер өрісі,
- ағымдағы сомаға сәйкес депозиттік мөлшерлеме,
- химиялық тасымалдау графиктері,
- ылғалды сіңіруге қатысты әрекет,
- гранулометриялық таралу (жүктелген доғадағы ағындар үшін).

Осы ерекшеліктерді негізге ала отырып және металлургиялық пайымдауларды қолдана отырып, біз құрылыс ерекшеліктерімен берілген мақсаттарға жету үшін қолайлы өнімдерді таңдай аламыз.

Үлкен қалыңдықтар дәнекерленген кезде, сұйылту коэффициенті тамыр аймағын қоспағанда төмен болып табылады, бірақ оны қосудың екінші жағын дәнекерлеу алдында көбінесе кесіп тастайды. Бұл жағдайда біз қажетті механикалық қасиеттерге ең жақсы бейімделген өнімдерді таңдау үшін каталогтың деректерін пайдалана аламыз немесе қарастырылып отырған дәнекерлеу шарттары термиялық дәнекерлеу циклдары тұрғысынан стандартты шарттардан өзгеше болса, біз техникалық деректерге жүгінуіміз мүмкін, сонымен қатар, қосылыстың бұл түрі дәнекерлеуден кейін кернеуді шешу үшін жиі өңделеді, дәнекерлеу бұйымдарын таңдау аталған мүмкіндікті ескеруі тиіс, себебі дәнекерлеу тігісінің металының сипаттамалары осы өңдеу кезінде айтарлықтай өзгеруі мүмкін.

Кернеуді алып тастаудың мақсаты дәнекерлеуге тән бірнеше рет және біртекті емес қызудан туындайтын ішкі кернеуді азайту болып табылады. Оның қағидасы температураның бір мезгілде жоғарылауы кезінде материалдардың ағымдылық шегінің төмендеуінен тұрады: бұл құрылымда ағымдылық шегінен асатын ішкі кернеудің болмауы мүмкін емес, өйткені бұл жағдайда кернеу олардың ағымдылық шегіне дейін төмендегенге дейін созылатын деформацияларға әкеп соқтырады. Кернеуді алып тастауға арналған өңдеу қарастырылып отырған металдың ағымдылық шегі жеткілікті төмен болатын температураға дейін қыздырудан тұрады (көптеген болат үшін 580/600°C), сондықтан деформациялар пайда болады және кернеу алынады.

Алайда, кернеуді алып тастау әрекетіне қосымша өңдеу кейбір пайдалы металлургиялық реакцияларды тудыруы мүмкін (теңгерімсіз құрылымдарды босату, шындалған аймақтарды жұмсарту және т.б.), бірақ кейде беріктілік тұрғысынан өте жойғыш (карбид, нитрид) немесе тұндыру карбонитридті қатаю кезінде; ағызу сатысынан кейін салқындағанда және т.б. жағдайларда морттану пайда болады. Осы зиянды қайталама құбылыстардың ауқымы едәуір дәрежеде пайдаланылатын өнімдердің сипатына байланысты, сондықтан осы құрылымға арналған өнімдерді таңдау кезінде өндіріс үдерісінде мұндай өңдеудің бар-жоғын немесе керісінше ескеру маңызды.

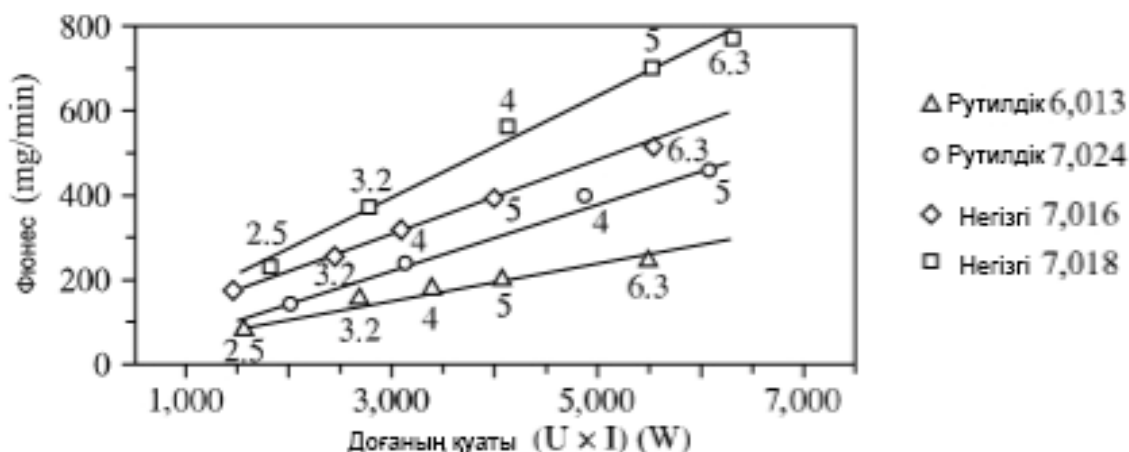
Жеткізушілердің каталогында көрсетілген механикалық қасиеттер аз ғана өтпелерден тұратын дәнекерленген жіктер үшін пайдасы жоқ, себебі дәнекерлеу жігінің металын талдау өнімдермен тұндырылған металл талдауынан өте өзгеше болуы мүмкін. Бұл жағдайда дәнекерлеу өнімін таңдау IRSID графикін пайдалана отырып, бағаланған термиялық циклге негізделген металлургиялық тұжырымдамалардан, сұйылудың болжамды жылдамдығы мен негізгі металды (осы тұрғыда тым тиянақсыз болып табылатын эталон емес) нақты талдау арқылы жасалуы мүмкін. Термиялық циклдің негізінде қалаған қасиеттеріне байланысты дәнекерлеу тігісінің металына химиялық талдау жасай аламыз, содан кейін металл талдауын есептей аламыз. Біз сондай-ақ қажетті нәтижеге қол жеткізуге мүмкіндік беретін сым/флюс комбинациясын таңдау үшін дәнекерленген пластиналардың нақты талдауы мен араластыру жылдамдығын назарға аламыз.

5.6 Дәнекерлеу бұйымдары және дәнекерлеушінің айналасы

Дәнекерлеу көптеген зиянды әсерлердің (ультракүлгін сәулелену, шу, бу, шашырандылар және т.б.) себебі болып табылады, олар қажет болған жағдайда дәнекерлеушілердің немесе жақын жерде жұмыс істейтін басқа персоналдың денсаулығын сақтау үшін жеке және ұжымдық қорғаныс құралдарын пайдалануға әкеп соғады. Дегенмен, дәнекерлеудің оқшаулануына қарамастан бұл жабдықтың абсолютті тиімділігіне кепілдік беру әрқашан оңай емес, сондықтан осы зиянды әсерлердің бірқатар төмендеуі еңбек жағдайына оң әсер етуі мүмкін. Бұл міндет дәнекерлеудің шығын материалдарын және дәнекерлеу процедураларын әзірлеу кезінде негізгі мәселе болды, егер алға қадам керек болса, қазіргі уақытта осы зиянды әсерлердің кейбірін айтарлықтай азайтуға болады.

5.6.1 Жабыны бар электродтар

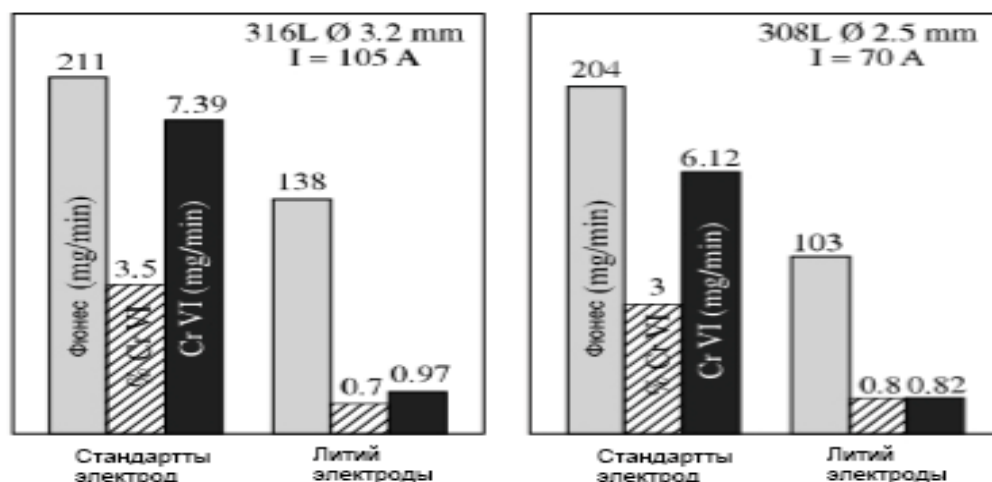
Жабын арқылы электродпен дәнекерлеу кезінде бөлінетін бу мөлшері жабынның сипатына және пайдаланылатын электр қуатына байланысты. 5.20-суретте көрсетілгендей, бұл әр түрлі маркалы екі рутилді және екі негізгі электродтарға арналған. Бұл нәтижелер қарастырылатын диаметр үшін өндіруші ұсынған әрбір орташа ток электродына арналған. Алайда, дәнекерлеудің қарқындылығы нақты диаметр үшін ең төменгі қолданыс аймағына дейін өзгергенде, түтін қалдықтары екі еселенуі мүмкін екенін ескеру қажет. Жалпы, рутилді электродтардың балқытылған металдан 0,8% - дан 1%-ға дейінгі диапазонда түтін бөлу жылдамдығы бар екенін ескеруге болады, ал негізгі электродтар үшін бұл жылдамдық 1,5%-дан 2%-ға дейін құрайды.



Сурет 5.20. Доға қуатына байланысты электродтардың түрлі типтері мен диаметрлерінің түтін эмиссиясының жылдамдығы: рутил 6,013 және 7024; негізгілері 7,016 және 7,018

Төмен температурада қыздырылған электродтар жағдайында (рутилді электродтар) түтіннің булану жылдамдығы сутегі, яғни күйдіруден кейінгі қалдық ылғалдылыққа қатысты, сондай-ақ жабынның барлық органикалық материалдарынан түсетін сутектің әлеуетті құрамының ұлғаюымен артады. Екінші жағынан, жоғары температурада (негізгі және тот баспайтын) дәнекерленетін электродтар үшін түтіннің бөліну жылдамдығы жабындыдағы натрий мен калий құрамының артатын функциясы болып табылады. Осылайша, осы элементтерді қамтитын барлық компоненттерді жабыннан алып тастай отырып және оларды литий қосындыларымен ауыстыра отырып, бөлінетін будың санын екі есе қысқартуға болады. Бұл құрамды тот баспайтын электродтарға қолдану түтіннің зияндылығын айтарлықтай төмендетуден тұратын қосымша артықшылығы бар. Дәстүрлі тот баспайтын электродтардың жұптары шамамен 4% алты валентті хромнан тұрады, оның зияндылық индексі стандартты жұптарға қарағанда 100 есе жоғары және үш валентті

күйдегі хромға қарағанда 10 есес жоғары (Oel CrVI: 0,05 мг/м³; Oel CrIII: 0,50 мг/м³; майдың стандартты булары: 5 мг/м³). Алайда бұл натрий мен калий қосылыстарын литий қосылыстарымен ауыстыру CrVI құрамын 1%-дан төмен деңгейге дейін төмендетуге мүмкіндік береді, сондықтан тот баспайтын болат үшін осы электродтардың жұптары қоспасыз электродтарға қарағанда зиянды емес (5.21-суретті қараңыз).



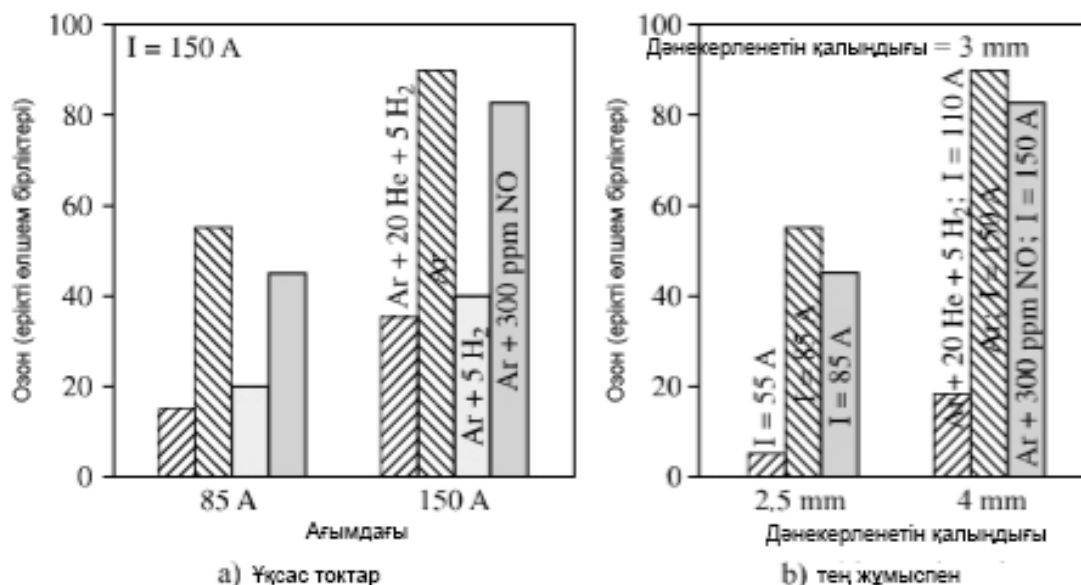
Сурет 5.21. Тот баспайтын болаттан жасалған стандартты электродтар мен литийлі электродтар арасындағы түтін мен алты валентті хромның эмиссия жылдамдығын салыстыру

Қазіргі таңда рецептураның әзірлемелеріне байланысты құн үстемелері дәстүрлі базалық электродтар жағдайында шамадан тыс жоғары болып саналады. Дегенмен, бұл электродтардың өзекшелеріне қойылған жоғары бағасына қатысты тот баспайтын болат үшін қолайлы. Олар қазір нарыққа шығарылған.

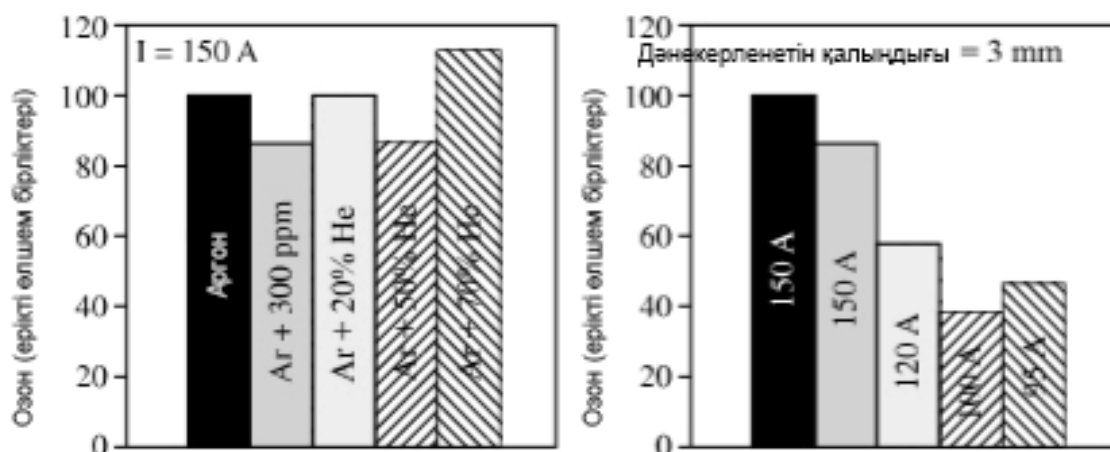
5.6.2 ВИГ дәнекерлеуге арналған газ қоспалары

ВИГ дәнекерлеу кезінде булар мен шашырандылар бөлінбейді, бірақ тот баспайтын болаттарды дәнекерлеу кезінде озонның пайда болу мәселесі туындайды және жеңіл қорытпаларды дәнекерлеу кезінде мұндай мәселелер артуы мүмкін.

Озон қоршаған оттегі молекулаларын "бұзатын" ультракүлгін сәулелік әсерінен пайда болады. Осылайша пайда болған оттегінің жекелеген атомдары (O) оттегінің басқа молекулаларымен (O₂) ден қоюға және уыттылығы танылатын озон молекулаларын (O₃) түзуге қабілетті болады. Іс жүзінде, 130-дан 180 нм-ге дейінгі спектральды жолақтағы сәулеленудің ультракүлгін сәулеленуінде осы жекелеген атомдардың пайда болуына әсіресе бейім..



Сурет 5.22. ВИГ аустенитті тот баспайтын болатпен дәнекерлеу кезінде түзілетін озон санына қорғау газы типінің әсері



Сурет 5.23. АСВИГ-дәнекерлеуінің жеңіл қорытпасында (5086 қорытпасы) түзілетін озон санына қорғау газы типінің әсері

Доға шығаратын сәуле шығару спектрі қолданылатын энергияға және қолданылатын химиялық элементтерге байланысты. Сондықтан пайда болған озон саны доғаның ($U \times I$) қуатын арттыру арқылы ұлғаяды және бірдей қуат пен қорғаныс газдарында жеңіл қорытпаларды дәнекерлеу кезінде тот баспайтын болаттан артық озон пайда болады.

Егер атмосфераға диффузияланушы озон санын азайту мақсат болса, бірнеше шешім қолданылады:

- спектрлік жолақтағы сәулеленуді 130-дан 180 нм-ге дейін азайту. Бұған мүмкіндігінше қорғау газы арқылы аргонды гелиймен ауыстыру арқылы қол жеткізуге болады;

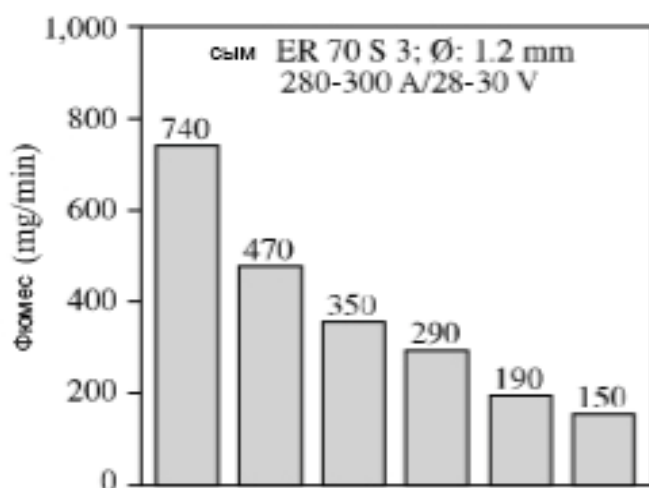
- кез келген осы қосылысты өндіру үшін пайдаланылатын энергияны азайту. Бұл үдеріске өзгерту жолымен қол жеткізуге болады: ВИГ екі ағыны немесе плазма бірдей энергиямен ВИГ үдерісіне қарағанда терең еруге әкеп соқтырады және осы қосылысты алу үшін қажетті дәнекерлеу энергиясын азайтуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар құрамында гелий және/немесе сутегі бар қорғау газының көмегімен қол жеткізуге болады, ол доға морфологиясын өзгертіп және доға ұзындығы бірдей кернеуді арттыру арқылы ВИГ үдерісінің өнімділігін айтарлықтай жақсартады;

- озонға қатысты өте реактивті және оның бұзылуын тудыратын газ молекулаларын қорғау газына енгізу (сутегі немесе NO азот тотығы).

5.22 және 5.23-суреттер түрлі әрекеттерден алынатын артықшылықтарды көрсетеді. Олар түрлі әсерлерді біріктіретін аргон-гелий-сутегінің үш есе қоспасын пайдалану тиімді екенін көрсетеді. Алайда, қоспа бір жағынан пайдалану аспектілерін (гелий және/немесе сутегінің тым жоғары құрамы позициядан тыс дәнекерлеу үшін мәселелер тудыруы мүмкін), ал екінші жағынан, металлургияға қатысты дәнекерлеу тігісінің жинақылығын сақтау үшін жеңіл қорытпаларды дәнекерлеу үшін сутекті пайдалануды ескеру үшін жобалануы тиіс. Нәтижесінде, белгілі бір дәнекерлеу жабдығы гелий өте жоғары болған кезде доғаның тиімді тұрақтылығын қамтамасыз етпейді. Бұл 5.23-суреттегі аргон қоспасындағы озон мөлшерінің + 70% гелийдің ұлғаюын түсіндіреді.

5.6.3 GMAW арналған газ қоспалары

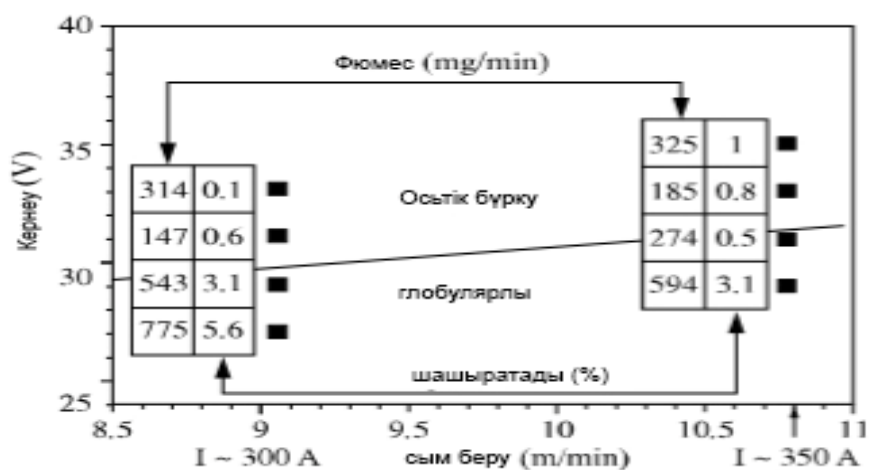
Ультракүлгін сәулемен қатар бу бөлу GMA дәнекерлеумен байланысты негізгі зиянды әсер болып табылады. Алдымен, бұл қорғау газының тотығу дәрежесіне байланысты өседі (5.24-сурет), бу және шашырандылар металл тасымалдау режимімен тығыз байланысты.



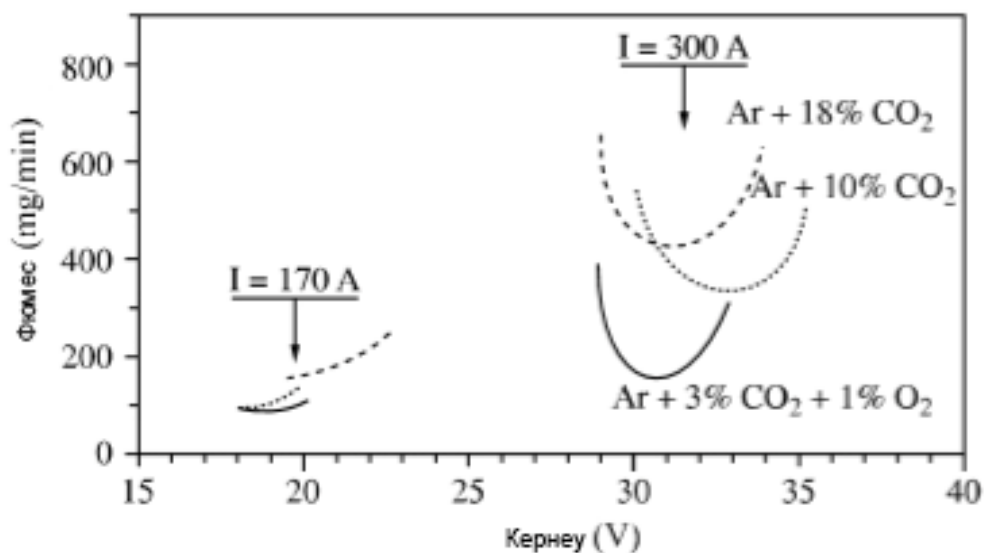
Сурет 5.24. MAG дәнекерлеу кезінде түтін шығару жылдамдығына қорғаныс газының әсері

Дәнекерленген жіктер сым/газ қолданылатын комбинациясы үшін осьтік тозаңдау арқылы тасымалды тудыратын токпен өндірілсе, түтін шығару жылдамдығы мен проекциясы азаяды, ал кернеуді осьтік бүрку арқылы тұрақты тасымалдауға қол жеткізгенге дейін арттырамыз. Сонымен қатар, осы мәннен басқа, кернеудің ұлғаюы металлдың тасымалдануын өзгертпейді, бірақ доғаның қарапайым ұзаруын тудырады, бұл өз кезегінде металл элементтердің ұшып кетуінің ұлғаюын және түтіннің бөліну жылдамдығын тудырады (5.25-суретті қараңыз).

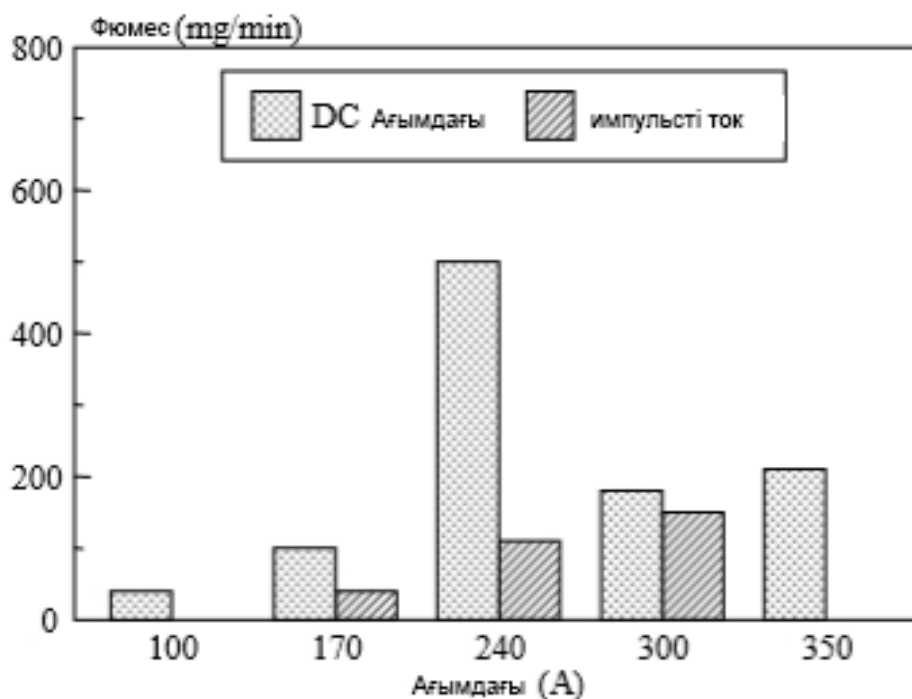
5.26-суретте көрсетілгендей, бұл жалпы үдеріс болып табылады, онда дәнекерлеудің әр түрлі жағдайларында үш газ қоспасына қатысты түтіннің бөліну жылдамдығы салыстырылады. Сонымен қатар суретте қалдықтардың ең аз мәндерінің қорғау газының тотығу қуатын азайту кезінде азайғанын көреміз. Тұрақты электр параметрлері арқылы нақты салыстырулар қорғаныс газдарының кері жіктелуіне әкелуі мүмкін, өйткені ұқсас электр параметрлері әр газға тән тасымалдау сипаттамаларымен салыстырғанда жұмыс нүктелерінің осындай орналасу нүктелеріне сәйкес келмейді.



Сурет Сурет 5.25. Қалдықтар мен шашырату жылдамдығы мен түрлендіру кестесі арасындағы байланыс. Электрод: ER70S6 1.2 мм; Газ қоспасы: Ar + 3% CO₂ + 1% O₂; байланыс түтігінен бөлшекке дейінгі қашықтық: 20 мм



Сурет 5.26. Екі дәнекерлеу тоғы үшін кернеу бойынша үш газ қоспасының булану жылдамдығын салыстыру. Электрод: ER70S6 I 1.2 мм



Сурет 5.27. Тұрақты ток пен импульстік ток арасындағы түтін эмиссиясының жылдамдығын салыстыру. Сым: ER70S3 I 1,2 мм; газ: Ar + 3% CO₂ + 1% O₂

5.6.4 Ұнтақ сым

Ұнтақты сымдарды пайдалану жабық электродтарға зиян келтіруі мүмкін. Алайда, бұл өнімдер электродтарға қарағанда түтін қалдықтарын айтарлықтай көп шығармайды, дегенмен, біз шөгінді металл мөлшерін анықтау нәтижелерін қарастырғанда, олардың жоғары өнімділігі кейде оларды пайдалануға кедергі келтіретін уақыт бірлігіне қатысты қалдықтардың жылдамдығына әкеп соқтыруы мүмкін.

Ұнтақты сымның пайдалану сапасы пайдаланылатын қорғаныш газбен, сондай-ақ ішінара толтырғышты құрайтын «ингредиенттердің» сипатымен байланысты. Тұтас сымдармен салыстырғанда, СО пайда болуына алып келмейтін ұнтақ сым/газ комбинацияларының дамуын қарастыруға мүмкіндік беретін қосымша еркіндік дәрежесіне ие болады. СО түзілетін мөлшері экранда СО₂ мазмұнына тікелей байланысты болады. Сымның құрамын СО₂ жоқ газ үшін қажетті пайдалану сапаларына ие болатындай етіп бейімдеу қажет. Сонымен бірге түтін қалдықтарын азайту үшін газ неғұрлым аз тотығуы тиіс.

Қазіргі таңда металл өзекшесі бар сым ғана емес, сондай-ақ Ar+3,5% O₂ қоспасымен жұмыс істеуге арналған рутил сымдары да қолданылады. Сонымен бірге СО қалдықтарын азайту құралы ретінде олар Ar+18% немесе 25% СО₂ қоспасымен пайдаланылатын стандартты сыммен салыстырғанда түтін қалдықтарын шамамен 50%-ға төмендетуі мүмкін.

5.7 Қолданылған әдебиеттер тізімі

[BOU 83] BOURDIN E., FAUCHAIS P., BOULOS M., "Transient heat conduction under plasma conduction", *Int. J. Heat Mass Transfer*, vol. 26, no. 4, p. 567-582, 1983.

[DIC 88] DICKEHUT G., RUGE J., "Method for predicting the content of diffusible hydrogen in the weld metal under the influence of atmospheric moisture", *Schweissen und Schneiden* 40, no. 5, p. 238-241, May 1988.

[EAG 78] EAGAR T.W., "Sources of weld metal oxygen contamination during submerged arc welding", *Welding Journal*, p. 76s-80s, March 1978.

[GAS 86] GASPARD-ANGÉLI A., BONNET C., "How to optimize the properties of the longitudinal welds of pipes using a fused flux", *Proceedings of the 3rd Intern. Conf., Welding and Performance of Pipelines*, London, 18-21 November 1986.

[JON 95] JÖNSSON P.G., MURPHY A.B., SZEKELY J., "The influence of oxygen additions on argon-shielded gas metal arc welding processes", *Welding Journal*, p. 48-58, February 1995.

[LED 92] LEDUEY B., BONNET C., DAMAGNEZ P., "Principes d'évolution des électrodes enrobées pour réduire l'hydrogène diffusible", *Soudage et Techniques Connexes*, p. 15- 19, July-August 1992.

[LES 58] LESNEWICH A., "Effect of shielding gas composition on metal transfer phenomena in high current GMAW welding. Part II—Control of metal transfer", *Welding Journal*, p. 418s-425s, September 1958.

[TAY 75] TAYLOR L.G., FARRAR R.A., "Metallurgical aspects of the mechanical properties of submerged-arc weld metal", *Welding and Metal Fabrication*, p. 305-310, May 1975.

[TUL 69] TULIANI S., BONISZEWSKI T., EATON N.F., "Notch toughness of commercial submerged-arc weld metal", *Welding and Metal Fabrication*, p. 327-339, August 1969.

[USH 93] USHIO M., IKEUCHI K., TANAKA M., SETO T., "Effect of shielding gas composition on metal transfer phenomena in high current GMA welding", *Trans JWRI*, vol. 22, no. 1, p. 7, 1993.

Дәнекерленген қосылыстардың қажу беріктігі

6.1 Қажу беріктігі

6.1.1 Кіріспе

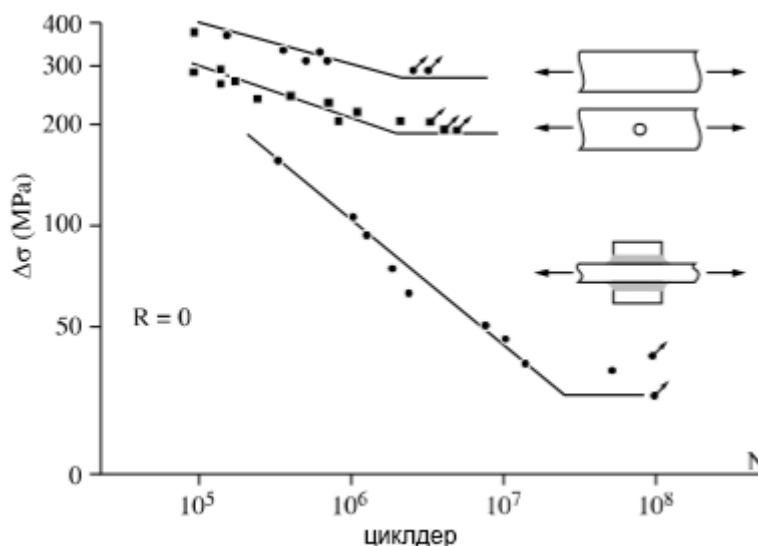
Дәнекерленген құрастылымдарда жұмыстың бұзылуын бақылау, әдетте, қажуды көрсетеді. Сонымен қатар, дәнекерленген конструкциялар үшін ұйғарынды пайдалану кернеулері статикалық кернеулерге (тұрақсыздық шегі, үзілу беріктігі) қатысты өте төмен болғаны және істен шығуды болдырмау мақсатында сенімді болу үшін, мысалы, тұрақсыздық шегінің үлесіне негізделген, қауіпсіздік коэффициентін қолдануға жеткіліксіздігі анық болды. Шын мәнінде, дәнекерленген тігістер құрастырылымның бір элементінен басқа элементке өзгешеленетін, кернеулердің елеулі шоғырлануын құруы мүмкін.

Мысалы, 6.1 суретте E36 болат тілімінің және бойлық бағытта тесікпен немесе екі қатайту қабырғаларымен ерітіп жабыстырылған, сол тілімнің қажу сипаттамалары салыстырылады. Әдетте 2×10^6 циклдары болып орнатылатын қажу беріктігі, тиісінше, 260-тан (жалпақ тілім) және 180 –нен (тесер тілім) дәнекерленген қосылыс үшін 70 МПа-ге дейін өтеді.

Екінші жағынан, егер біз үзілу мүмкіндігін алып тастау үшін қауіпсіздіктің жеткілікті үлкен коэффициентін қолдансақ, дәнекерленген құрастырылым тым үлкен және тиімсіз болады.

Іс жүзінде, құрылымды жобалауда оның әрбір аспекті келесі үш шартқа сай болуы керек:

- функцияны барынша тиімді орындау,
- үнемді өндіріс,
- пайдалануда қызметтің анықталған мерзімін қамтамасыз ету



6.1. сурет Тесіктері бар табақтың немесе тегіс болат және бұрыштық тігістің қажу беріктіктерін салыстыру

Жобалау кезеңінде бірінші екі шарттың салдары салмақ және шығысты төмендету мақсатымен қауіпсіздік коэффициенттерін төмендетуге әкеледі. Өкінішке орай, бұл үрдіс пайдаланудың жеткілікті мерзімінің қажеттілігімен, және демек қажу зақымы пайда болуы мүмкін құрастырылымның қауіпсіздігімен қайшы келеді. Сонымен қатар, нақты құрастырылымдардың қажу беріктігі теориялық жолмен анықталуы мүмкін еместігі сөзсіз. Сондықтан қажу кернеулеріне ұшырайтын құрастырылымды жобалаудың жалғыз шынайы тәсілі - әрбір пайдаланылатын қосылыс конфигурациясына сәйкес келетін, қажу беріктігі бойынша деректерге қоса берілген жүктеме деңгейлерін байланыстыру болып табылады. Осыған байланысты әрбір елдің өз стандарттары немесе ұсыныстары бар. Алайда бұл кодтар

металл құрастырылымдардың белгілі бір түрлеріне ғана қолданылады.

Бұл тараудың мақсаты - дәнекерленген қосылыстардың қажу беріктігіне әсер ететін негізгі параметрлерін талдау және де схемалық тәсілмен көрсету.

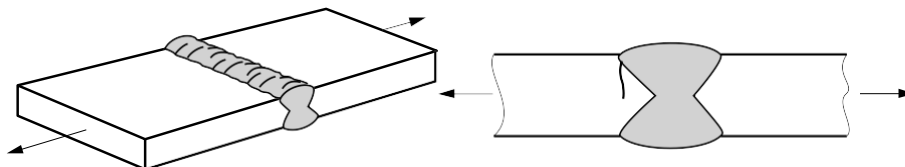
6.1.2 Негізгі дәнекерленген қосылыстардың тозғаннан бұзылуы

Дәнекерлеу операциялары, кернеуге сезімтал орындарда қалыптасу және кеңеюі мүмкін, қажудан жарылулар пайда болуына әкеледі. Бұл аймақтар өзімен не дәнекерленген тігісте геометриялық аномалияны (ауытқушылықты), ішкі ақауды (өткізгіштіктің, кеуектіктің болмауы) не сыртқы ақауды (жарамсыз бөлшектер (поднутрение), қож қосулар)) білдіреді; олардың салыстырмалы маңыздылығы қызмет көрсетуде қолданылатын, құрастырудың түріне және жүктеме түріне байланысты болады.

6.1.2.1 Түйіскен дәнекерленген қосылыстар

Көлденең түйіскен дәнекерленген тігістер

6.2 суретінде жүктеме осіне перпендикуляр, екі тілімді (пластинаны) көлденең дәнекерлеумен қосуға мүмкіндік беретін құрастырудың түрі көрсетілген.



6.2. Сурет Көлденең түйісу жігінің қажудан жарылуы

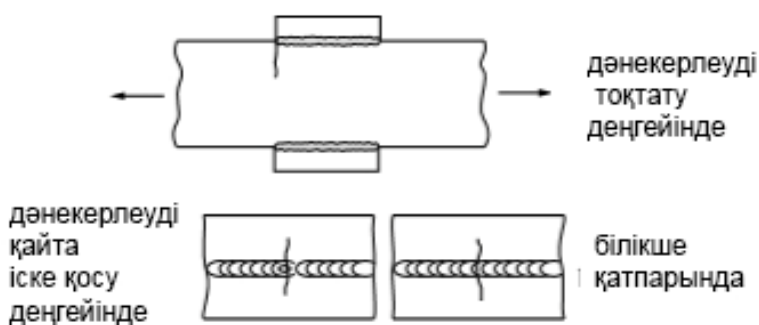
Қосылыстың бұл түрі үшін қажудан жарылу дәнекерленген тігістің бөктерінен басталады және жүктеменің бағытына перпендикуляр, табақ қалыңдығы бойынша таралады. Осылайша, жарылу ақаулы дәнекерлеудің немесе балқытылған металдың нашар сапасының нәтижесі болмайды, ал дәнекерлеу жігінің бөктерінде кернеулердің шоғырлану салдары болып табылады.

Түйіскен дәнекерленген қосылыстың бұл түрінде дәнекерлеу жігі формасының әсері қосылыс беріктігінің сипаттамаларын анықтау үшін маңызды. Ол дәнекерлеу жағдайларына байланысты.

Бойлық дәнекерленген тігістер

Бойлық қосылыстар үшін металдың артық болуынан қиманың өзгеруі енді қоса берілетін жүктеме бағытына параллель және осы дәнекерлеу тігістерінің қажу сипаттамалары көлденең қосылыстарға қарағанда неғұрлым жақсы деп ойлауға болады. Дегенмен, ол үнемі олай бола бермейді.

Қосылыстың бұл түрінде жарылу әдетте дәнекерлеудің тоқтауы және қайта іске қосуы деңгейінде басталады (6.3 суретті қараңыз), мысалы, электродты ауыстыру немесе дәнекерлеу жігі бетінің деформациясы кезінде.



6.3 Сурет. Бойлық түйіскен тігістің қажудан жарылуы

Бойлық қосылыстардың жақсы қажу беріктігі тек қана олар үздіксіз болған жағдайда болуы мүмкін, және демек, дәнекерлеуде үзілістер болдырылмайды.

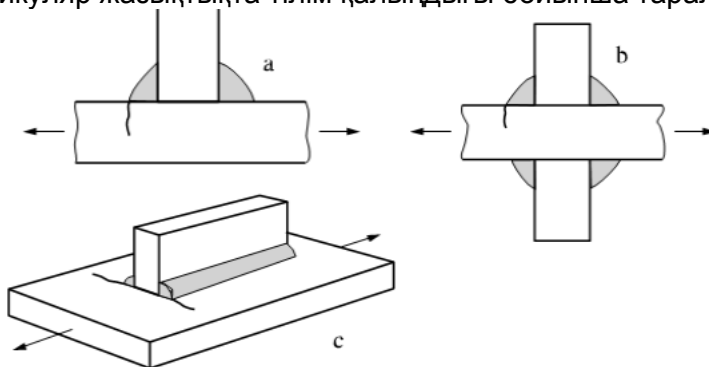
6.1.2.2 Бұрыштық дәнекерленген тігістің құрама бірлігі

а) Кірес тәрізді (крестообразный) қосылыс

Дәнекерленген тігістердің жүктемеге төзетініне немесе төзбейтініне байланысты кірес тәрізді қосылымдардың екі түрі бар.

Жүктемесіз бұрыштық дәнекерленген тігіс

Бірінші түрде бұрыштық дәнекерлеу тұтас металл қағазға жүктеме бермейді (6.4а және 6.4b суреттерін қараңыз). Бұл жағдайда жарылу дәнекерлеу жігінің бөктерінде басталады және кернеуге перпендикуляр жазықтықта тілім қалыңдығы бойынша таралады.



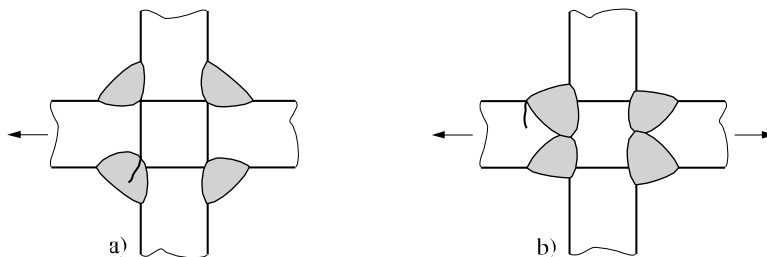
6.4. Сурет. Жүктемесіз бұрыштық тігістің қажудан жарылуы.

Кернеудің бағытына параллель, бұрыштық дәнекерленген тігістермен құрама бірліктерді дайындаудың қандай да бір артықшылығы жоқ (6.4с суретін қараңыз). Содан кейін, жарылу білікше соңында басталады және төмен қажу беріктігі пайда болады. Екінші жағынан, үздіксіз бойлық бұрыштық дәнекерленген тігістер үзік бұрыштық дәнекерленген тігістермен салыстырғанда төзімділікті айтарлықтай жақсартады.

Көтергіш бұрыштық дәнекерлеу

Қосылымның бұл түрінде барлық жүктеме дәнекерлеу жігі арқылы беріледі (6.5а суретін қараңыз).

Бұл жағдайда дәнекерлеу жігінің бөктерінде орналасқан, кернеулердің шоғырлану аймақтарына қосымша, дәнекерлеу жігінің негізінде сүйір бұрышты ішкі ойықтар аймақтары бар. Әдетте мұнда жарылу басталады, ол кейін жүктеме бағытымен салыстырғанда, тұнған металда көлбеу бағытта таралады. Бұзудың бұл түрі алдыңғы дәнекерлеу қосылыстармен салыстырғанда құрастыру беріктіктің салыстырмалы төмен сипаттамалары бар екенін білдіреді. Сондықтан мақсаты - дәнекерлеу жігінің түбірінде жарылудың пайда болуын болдырмау болып шығады; бірақ бұл жолы дәнекерлеу жігінің сыртқы бетінің шекарасында, дәнекерлеу жігінің қалыңдығын арттыру, неғұрлым кең дәнекерлеу жігі немесе үлкен тереңдік есебінен, қажудан жарылуды қамтамасыз ету үшін әрдайым жеткілікті емес. Әдетте, тұтас өзара кіру білікшелері төзімділік қасиеттерін айтарлықтай жақсартады (6.5b суретін қараңыз).

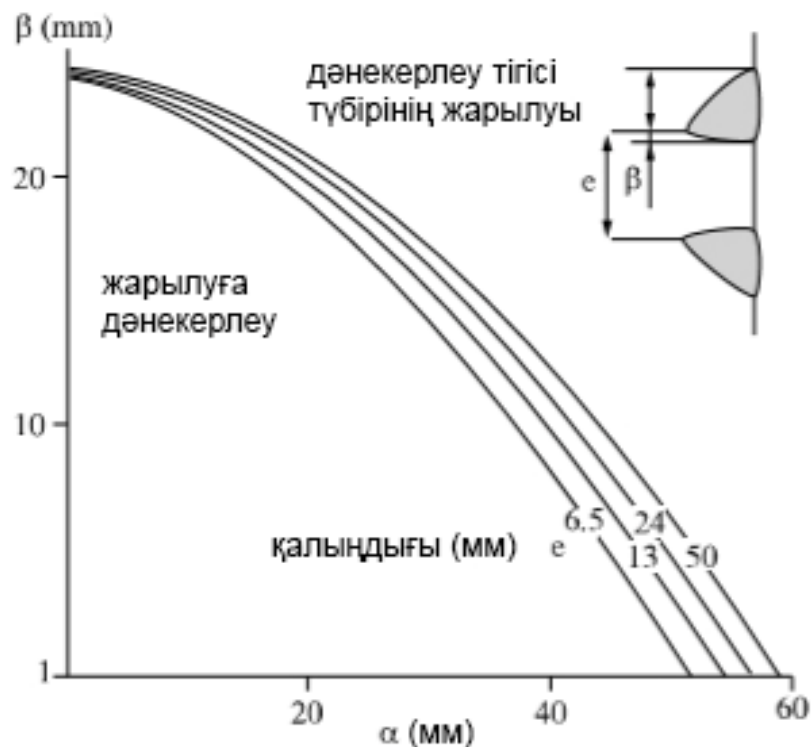


6.5 Сурет. Көтерме бұрыштық тігістің қажудан жарылуы

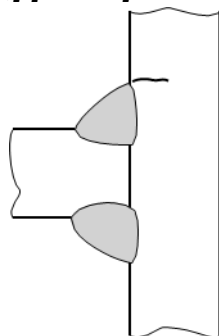
Әдетте, білікшенің өзара кірігуі, дәнекерленген тігіс сыртқы бетінің шегіне, дәнекерленген тігістің түбінде жарылудың пайда болуын қамтамасыз ету үшін әрдайым қажет емес. 6.6 Суретте ақаулықтың бір түрінен екіншісіне өту үшін қажетті білікшелердің геометриялық шарттары берілген.

b) T-тәрізді түйіспелер

Бір қарағанда, бұл қосылыс кірес қосылымының жартысына ұқсайды (6.7 Суретті қараңыз) және ұқсас қажу үлгісін көрсетуі керек. Алайда бұл жағдайда үзілудің үшінші режимі болуы мүмкін. Егер көлденең элементке түсірілген иілу кернеулерінде тікелей T-ға қолданылатын шектеулер сияқты шамалардың тәртібі болса, жарылу дәнекерленген тігістің басқа шекараларында басталып, көлденең элемент арқылы тарай алады.



6.6. Сурет Кірес тәрізді қосылыстың жарылу шарттары. Толық емес балқытудың әсері;] [LIE 73]-тен



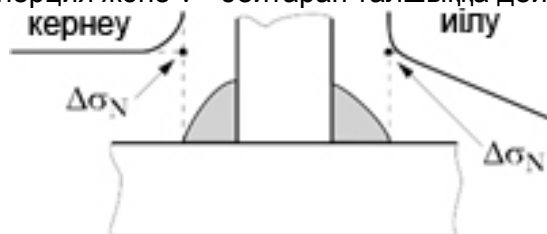
6.7. Сурет. Көлденең элемент иілу кернеуінде болғанда T-тәрізді дәнекерленген жігінің қажудан жарылуы

6.1.3. Номиналды кернеу тұжырымдамасы

Қарапайым дәнекерленген қосылысты қиылған құрылымы бар элемент ретінде қарастыруға болады және дәнекерленген тігіс ойық болып саналады. Кертілген бөлік сияқты жағдайдағыдай, $\Delta\sigma N$ номиналды кернеу диапазондары жарылудың пайда болу нүктесінің

деңгейіне дейін экстраполирленген болып саналады.

6.8 сурет созылуға немесе иілуге ұшыраған көлденең қаттылық қырымен қосылуға қатысты $\Delta\sigma_N$ -ді білдіреді. Номиналды кернеу материал беріктігіне қатысты, яғни дәнекерленген тігіспен байланысты жергілікті әсерді немесе геометриялық әсерді ескерместен, мысалы, Т -тәрізді қосылыс үшін қаттылық элементінің қатынасуымен, қашық кернеу болып есептеледі. Созылу кезінде бұл кернеу $\sigma_n = F/S$ (F : күш, S : қима), ал иілу кезінде $\sigma_n = M.v/I$ (M : иілу сәті, I : инерция және v - бейтарап талшыққа дейінгі қашықтық) білдіреді.



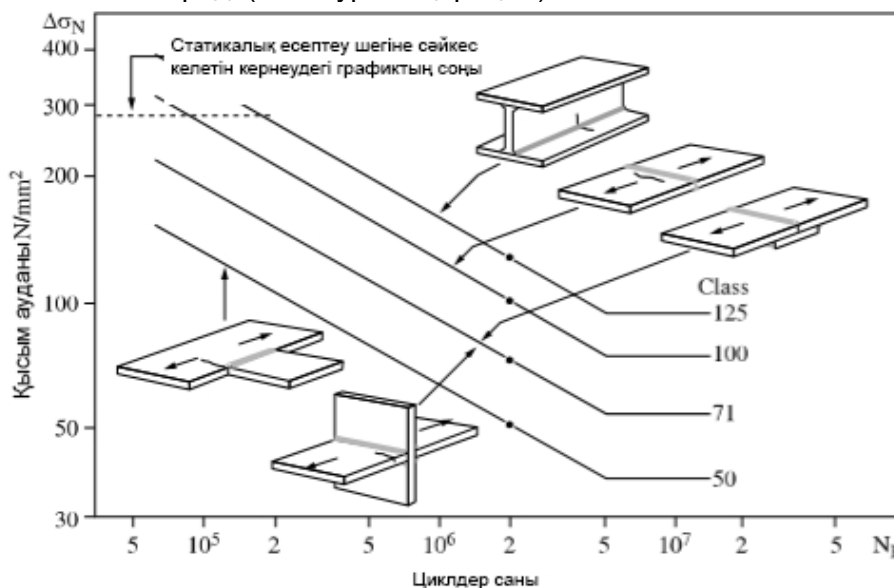
6.8. Сурет. Бұрыштық тігіс жағдайында $\Delta\sigma_N$ номиналды кернеулердің өзгермелі диапазонын анықтау

Әдетте $\Delta\sigma_N$ Вёлер диаграммаларында ($\Delta\sigma$ – N_R) S-N қисықтарын салу үшін қолданылады.

Кейін 2×10^6 циклдар төзімділігінің шартты шегі стандарт ретінде жиі қабылданатынын байқауға болады. Мысалы, 6.9 Суретте құрастырудың кейбір түрлері үшін Халықаралық дәнекерлеу институты [CII 00] ұсынған кернеудің ұйғарынды деңгейлері көрсетілген. Негізгі тақтаның тұрақсыздық шегіне ($R_e \geq 240$ МПа) қатысты салыстырмалы төмен мәндерді атап өткен жөн. Нақты айтқанда, кернеудің бұл ұйғарынды мәндері, бір мезгілде көптеген параметрлердің әсерін және олардың дәнекерленген күйіндегі құрастыру үшін сынау нәтижелерінің үлкен сәйкессіздігін көрсетеді.

6.1.4 Дәнекерленген қосылыстардың төзімділік факторлары

Түйіспелі дәнекерленген қосылыстың статикалық кедергісі жалпы негізгі металдың кедергісіне тең, бұл ретте үзілу дәнекерленген тігістен алыс болады (егер дәнекерленген тігістің өзі өте нашар болмаса). Екінші жағынан, қажу беріктігі дәнекерленген қосылыс үшін әрқашан төмен. Ол көптеген параметрлерге, ең алдымен құрастыруға қатысты (негізгі металл, қосылған металл, тігіс айналасы аймағы (HAZ-heat affected zone)) және оған түсірілетін күштерге байланысты өзгереді (6.10 суретті қараңыз).



6.9. Сурет. IIСтүптік S-N жобалық қисықтары және қажудан жарылудың орнын және қарастырылатын жүктеме бағытын көрсететін құрастырылымның тиісті бөлшектері



6.10. Сурет. Дәнекерлеген қосылыстардың қажу беріктігіне әсер етуші параметрлер

Дәнекерленген қосылыстардың қажу сипаттамаларына әсер ететін осы әртүрлі параметрлерді үш санатқа бөлуге болады:

- геометриялық факторлар: білікше пішіні, табақты нашар тегістеу, дәнекерленген элементтің иілімі, құрастыру өлшемдері (қағаздың қалыңдығы, білікше геометриясы);
- металлургиялық факторлар: негізгі металдың табиғаты, дәнекерлеу үдерісі (энергия, металл толтырғыш), дәнекерлеу ақаулары, қалдық кернеу деңгейлері;
- жүктемемен байланысты факторлар: жүктеме құрылымы (тұрақты немесе айнымалы амплитуда, кернеу коэффициенті), кернеу градиенті, кернеудің екі осьтігі, қоршаған орта.

Осы көптеген факторлардың әрқайсысы әдетте өзімен-өзі жұмыс істемейді. Пайдалану барысында стрестің (торығудың) түрлі деңгейлеріне әкелетін синергетикалық әсерлерді жиі ескеру қажет.

6.1.4.1. Геометриялық факторлар

а) Дәнекерленген тігістің пішіні

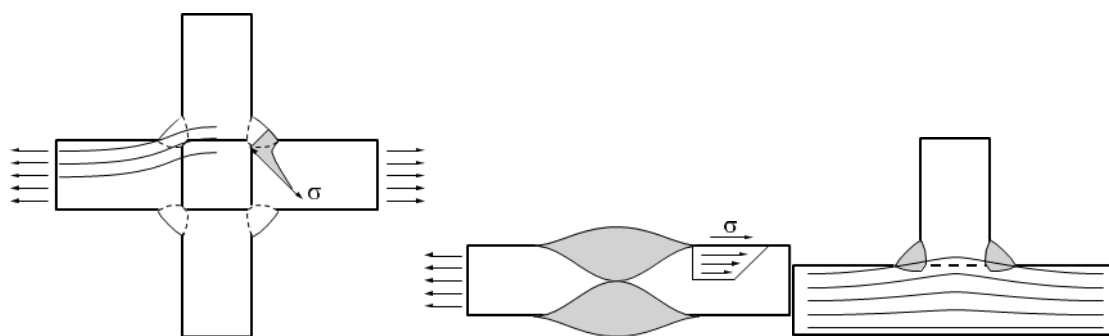
Біз, түйіспелі қосылыстар үшін төзімділіктің алынған шектерін дәнекерленген қосылыстарды жерде шайғандағы және сол дәнекерленген қосылыстарды дәнекерлеуден кейін салыстыра отырып, дәнекерленген тігістің жалпы әсерін ерекшелік аламыз. [LIE 73].

Күшейтілусіз дәнекерленген қосылыстарда төзімділіктің шегі негізгі металға қарағанда тым төмен (5-10%), ал дәнекерленген қосылыстарда байқалатын беріктік шегі негізгі металға қарағанда әлсіз (30-дан 45% - ға дейін).

Шын мәнінде, бірнеше авторлар бір жағынан, тігістің жалпы пішініне негізделген макрогеометриялық әсерді және екінші жағынан, бет тігісінің және металдан жасалған негіздің қосылу аймағында орналасқан, дәнекерлеу ақауларынан туындаған геометриялық әсерді ескеру қажеттігін көрсетті.

Макрогеометриялық эффект (әсері)

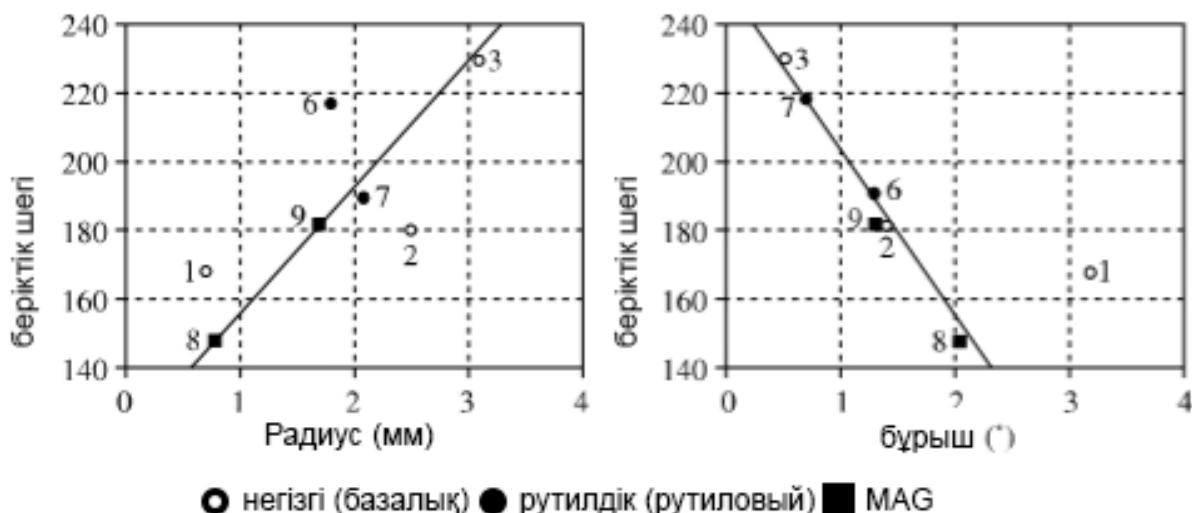
Дәнекерленген қосылыстар ерекшеліктерінің нәтижесі ретінде, дәнекерленген тігістер кернеулердің шоғырлану аймағына келтіретін қиманың өзгеруін қамтиды (6.1. Сурет).



6.11. Сурет. Дәнекерленген қосылыстарда кернеулердің шоғырлану аймағы

Бұрыштық дәнекерленген қосылыстар жағдайында негізгі металл және дәнекерленген тігістің қосылысы арасындағы нүктеде 1,5-тен 4,5-ке дейінгі ауқымда (диапазонда) кернеу шоғырлану коэффициентінің мәні өлшенді. Бұл коэффициент түйіспелі дәнекерленген тігістер үшін шамамен 3 құрайды. Бұл өлшеулер қарастырылып отырған нүктеде болуы мүмкін ақауларды және кернеудің осы шоғырлануын жергілікті арттыруы мүмкін ақауларды ескермейді.

Дәнекерленген тігістің ең жақсы сапасы қажу беріктігінің айтарлықтай артуына әкеледі.



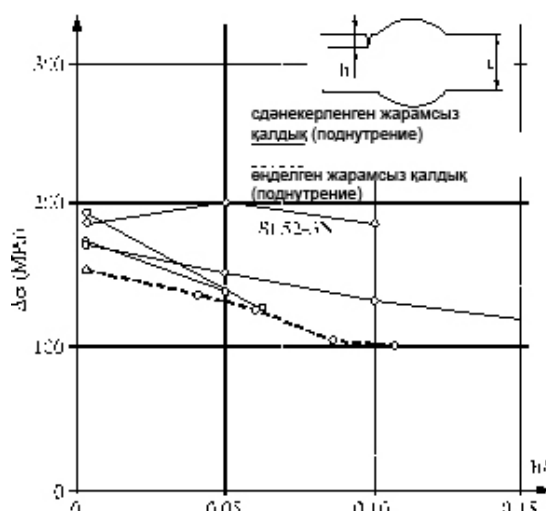
6.12. Сурет. Иілуге ұшырайтын Т-тәрізді құрама дәнекерленген қосылыстардың төзімділік шегі ($R = 1$), дәнекерленген тігіс радиусы немесе бүйір беті бұрышы арасындағы корреляция (өзара байланыстылық) [НУТ 94]

Мысалы 6.12 суретте, иілу жүктемелеріне ұшыраған, Т-тәрізді құрама қосылыстар жағдайында, төзімділіктің қарапайым шегі, $\Delta\sigma_{2 \times 10^6}$ циклдері және $\bar{\rho}$ радиусы (дәнекерленген тігіс бөктерінің аумағы кезінде (радиусы кезінде)) немесе $\bar{\theta}$ және $\bar{\theta}$ бүйір бетінің бұрышы арасындағы корреляция (ара қатыстылық) көрсетілген, $\bar{\theta}$, $\bar{\rho}$ және $\bar{\theta}$ жалпақ қалпында барлық дәнекерлеген үдерістермен өндірілген, құрама қосылыстардың әрбір сериясында жазылған орташа өлшемдерді білдіреді [НУТ 94].94].

Микрогеометриялық эффект (әсері)

Қиманың өзгерістерінен туындаған кернеу концентрациясына қосымша, жарылу, жарамсыз қалдықтар (поднутрения), кедір-бұдырлылықтар (неровности) және шеттік ақаулар және т.б. сияқты үстірт (поверхностные) ақауларды, сондай-ақ жұмыста ақауларды тудыруы мүмкін.

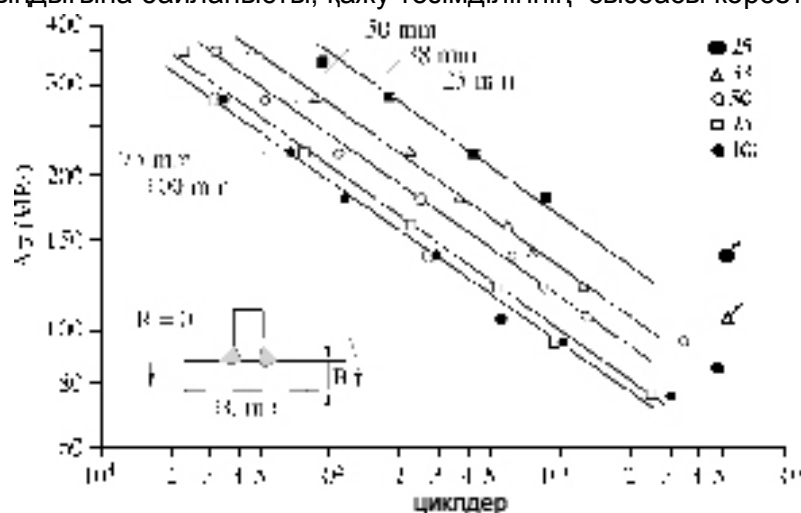
Мысалы, 6.13 суретте қажу беріктігіне жарамсыз қалдықтардың (поднутрение) рөлі көрсетілген



6.13. Сурет. Жарамсыз қалдық (поднутрение) тереңдігінің төзімділік шегіне әсері

b) Тақта (плита) қалыңдығы

Геометриялық ұқсас құрамаларда қажу беріктігі тілім қалыңдығының ұлғаюымен азаюы мүмкін [79 GUR]. 6.14. Суретте иілу күштеріне ұшыраған, Т-тәрізді дәнекерленген құрама қосылыстардың қалыңдығына байланысты, қажу төзімділігінің сызбасы көрсетілген.



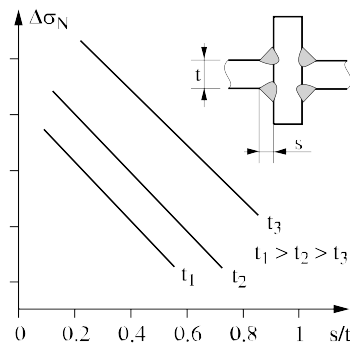
6.14. Сурет. Тілім қалыңдығының Т-тәрізді дәнекерленген қосылыстардың қажу беріктігіне әсері;] [79 GUR]-дан

Алайда, осы конфигурацияға арналған тәжірибелер (эксперименттер) көмегімен Т бүйірлік көлбеу бұрышының әсерін, s дәнекерленген тігістің ұзындығын және t тілімі қалыңдығын ажырату қиын; s/t азайған кезде, $\Delta\sigma_N$ 6.15. Суретте көрсетілгендей көбейеді [79 GUR].

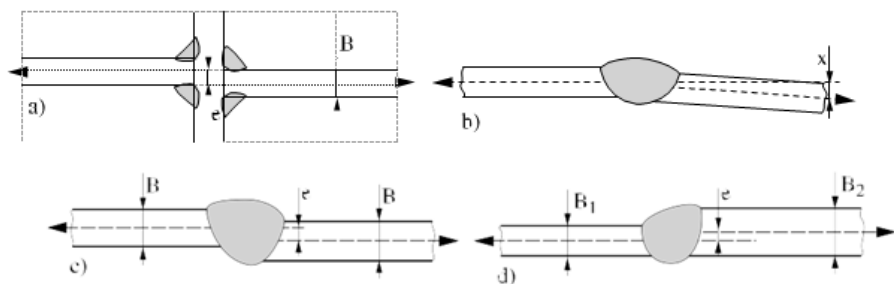
s орнына, әрине, [MAD 98] ($2s^+$ қаттылық элементінің қалыңдығы) құрастыруымен ұсынылған төсеме тақтасының (плита) ұзындығын назарға алу орынды болар еді.

C) Ығысу (смещение)

6.16-суретте әр түрлі осьтік немесе бұрыштық ығысулар көрсетілген, оларды дәнекерленген қосылыстарда байқауға болады. Бұл ақаулар номиналды кернеуге қосылатын қайталама июші сәттерге әкеледі.



6.15. Сурет. (s : дәнекерленген тігістің ұзындығы; t : тілім қалыңдығы) шаршау s/t беріктігіне схемалық рөлі; [79 GUR]- дан



6.16. Сурет. Ығысулар: а) осьтік, кірес тәрізді құрастыруда; б) бұрыштық немесе с) түйіскен дәнекерленген қосылыста; г) осьтік, түйіспелі дәнекерленген қосылыс қалыңдығының өзгеруіне байланысты; [MAD 80]-дан

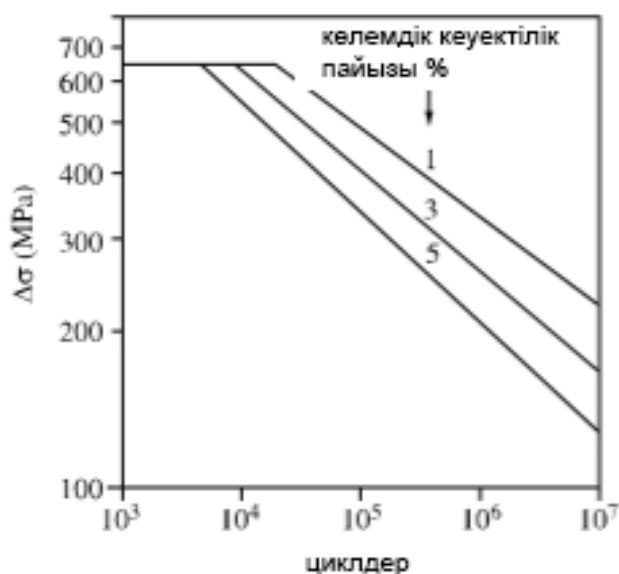
Номиналды шектеулердің ығысудан ұлғаюын әр түрлі талдамалы (аналитикалық) өрнектерді қолдана отырып бағалауға болады [MAD 80].

6.1.4.2. Металлургиялық факторлар

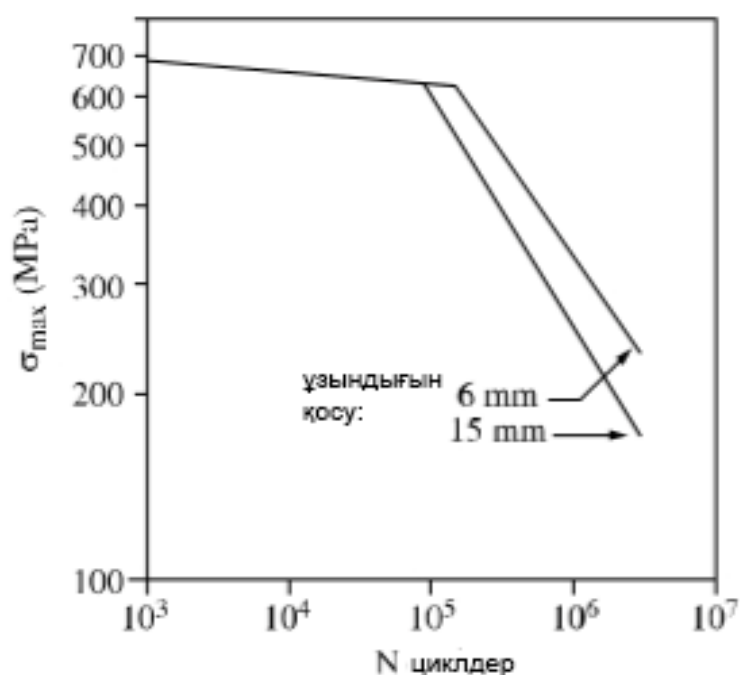
а) Ішкі ақаулар

Дәнекерленген тігісте түрлі ішкі ақаулар пайда болуы мүмкін: қож кірмелер (включения), кеуектілігі немесе толық емес балқуы. Толық емес балқу әдетте түбірде қажудан жарылудың пайда болуын білдіреді.

6.17 және 6.18 Суреттерде кірмелерге (включение) және қож кеуектілігіне қатысты, түйіскен дәнекерленген құрастыру кезінде, қажу беріктігінің төмендеуін ескеру қажеттілігі көрсетілген.



Сурет6.17. Түйіскен дәнекерленген қосылыстардың беріктігіне көлемдік кеуектілік пайызының әсері (созылу сынағы $R = 0$); [79 GUR] - дан.



6.18. Сурет. Түйіскен дәнекерленген қосылыстарының беріктілік шегіне ұзындықтың әсері (созылу сынағы); [79 GUR]-дан

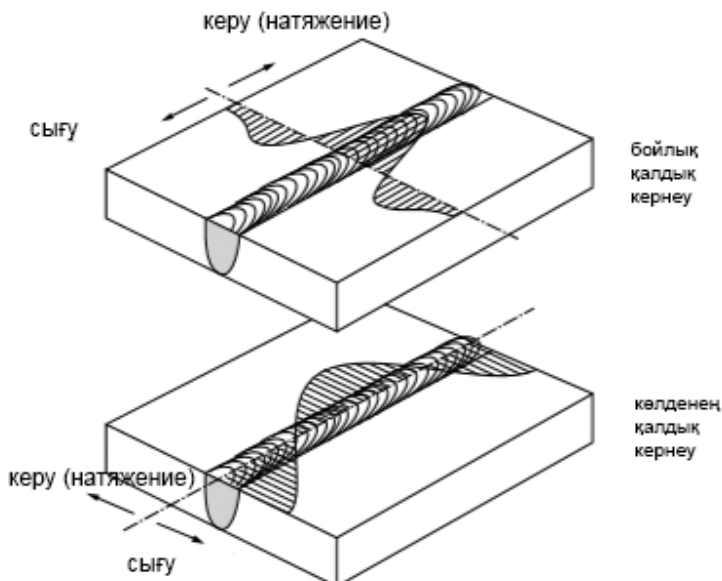
b) Қалдық кернеулері

Анықтама бойынша, қалдық кернеулер тепе-теңдікте сыртқы жүктеме болмаған кезде пайда болатын ішкі кернеу жүйесін құрайды. Бұл кернеу, әдетте, орнында өндірілетін, тұрақты пластикалық өзгерулердің (деформациялардың) нәтижесі болып табылады [LIE 97].

Дәнекерленген құрастырылымда бұл өзгерулер (деформациялар) дәнекерлеумен байланысты, жергілікті қыздыру және салқындату циклдерінің нәтижесі болып табылады. Дәнекерленген металл балқу нүктесінен салқындатылғанда, оның қысу үрдісі бар, бірақ ол шектес негізгі металмен тежеледі. Қысу одан кейін қоспа металдың пластикалық өзгеруімен (деформациясымен) қамтамасыз етілуі керек.

Бұл жағдай тігістің түрі мен өлшемі, пайдаланылатын дәнекерлеу үдерісі және қоспа

металды қондыру тәсілі сияқты технологиялық факторлармен қосымша күрделене түседі. Дегенмен, қоспа металда болатын елеулі қалдық кернеулерінің принципі сол күйінде қалады.



6.19. Сурет. Дәнекерлеуден туындаған қалдық кернеулер

Көп өтпелі дәнекерлеу жағдайында бұл қалдық кернеулер тілім жарылуының пайда болу нүктесіне жуық тұрақсыздық шегіне жетуі мүмкін.

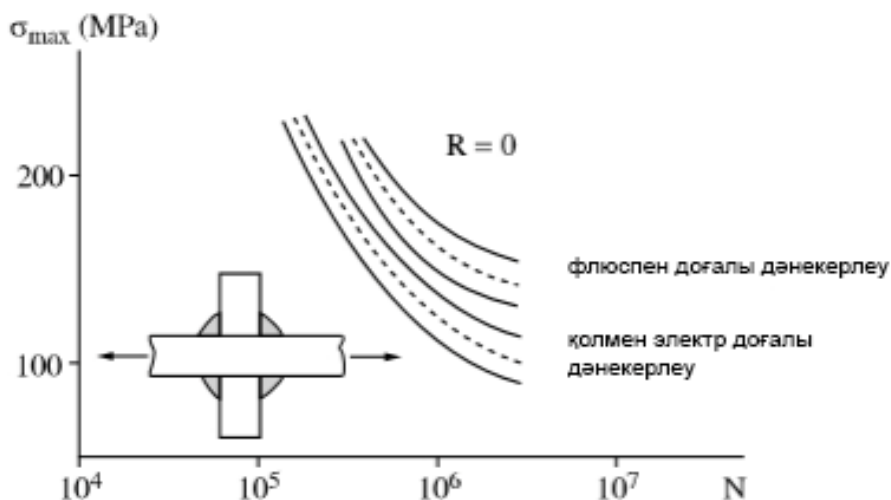
6.19. Суретте түйіскен дәнекерленген қосылыста бұл кернеулердің мысалы көрсетілген. Дәнекерленген тігіс жүктемеге ұшырағанда, қалдық кернеулердің бұл өрісі циклдік кернеулерге қосылады және егер ол кернеулі болса, құрастырылымның төзімділігі азаяды.

с) Дәнекерлеу үдерістері

Әдетте, дәнекерлеу үдерісі оңтайландырылған тозу төзімділігіне әкеледі және:

- шағын ақаулар, олардың да саны аз (аргондоғалы дәнекерлеу (дәнекерлеу) қатты флюспен дәнекерлеу)),
- төмен қалдық кернеулері,
- бүйір қабырғасының төменгі бұрышымен қолайлы дәнекерлеу жігі (автоматты дәнекерлеу) себебі болады.

6.20 Суретте дөңес білікшенің пайда болуымен қолмен дәнекерленген, E36 болаттан жасалған үлгілерде, және ойыс білікшені ала отырып, қатты флюспен автоматты дәнекерлеумен алынған, сол болаттан жасалған үлгілерде, қол жеткізілген сынақтардың нәтижелері көрсетілген. Автоматты дәнекерлеумен алынған үлгілердің қажу беріктігі, қолмен дәнекерленген үлгілерге қарағанда шамамен 40% - ға жоғары.



6.20. Сурет. E36 болаттан дәнекерленген қосылыстың қажу беріктігіне дәнекерлеу үдерісінің әсері;] из [LIE 73]-дан

Шын мәнінде, атап айтқанда, дәнекерлеу үдерісін орнату, үдеріске қарағанда, құрастырудың қажу тәртібінде айқындаушы рөл атқаратын болады. Әсіресе, дәнекерлеудің автоматты үдерісі үшін қажу сипаттамаларына қатысты шешуші фактор дәнекерлеудің оңтайлы параметрлерін таңдау болып табылады.

d) Қоспа металдың қасиеттері

Әлбетте, қоспа металды таңдау, дәнекерлеуге тиісті негізгі металдың қасиеттеріне байланысты. Осы таңдау шеңберінде келесі сәттерді ескеру қажет.

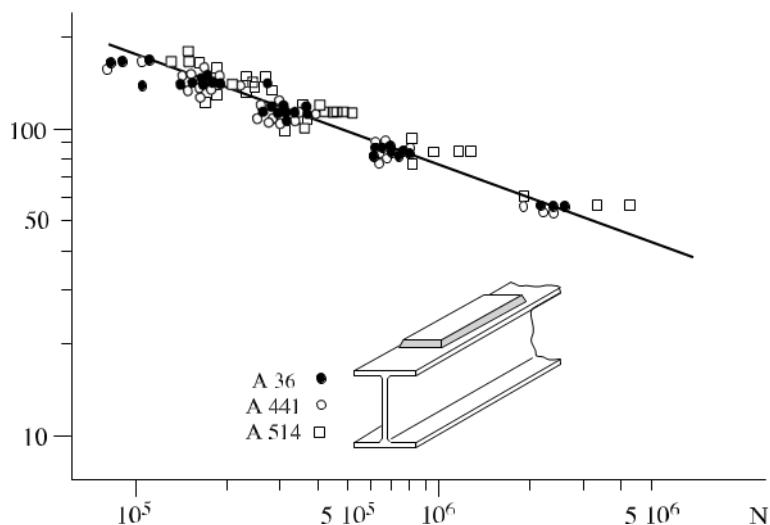
Металл толтырғыш (электродтар, сым) негізгі металдың сипаттамаларымен үйлесімді, балқытылған металдың механикалық сипаттамаларын қамтамасыз етуі тиіс, осылайша үздіксіздіктің жақсы қасиеттеріне кепілдік береді.

Ең дұрысы, сутегінің аз мөлшері бар немесе жалпы құрамында сутегі жоқ (мысалы, негізгі пеш электродтары) толтырғыш таңдалады.

Кірес тәрізді құрастырмалар үшін толтырғыштың негізгі металға толық балқуына қол жеткізу, түйіскен дәнекерленген тігістердің беріктігіне жуық, ортадағы мінсіз үздіксіздік және ойыс білікшелер қажу беріктігіне әкеледі. Бұл шарттар бірінші өту жолдары үшін үлкен балқытумен электродтарды таңдау және қорытынды өту жолдары үшін жақсы ағынмен пішінделген ("профильденген") электродтарды таңдау арқылы орындалуы мүмкін.

e) Негізгі металдың қасиеттері

Кейбір қосылыстар дәнекерленген күйде және жұмсақ немесе беріктігі жоғары болаттан $\Delta\sigma$ орта төмен кернеулері үшін ұқсас мәндерге жеткізеді. Бұл жағдайда тұрақсыздық шегінің салыстырмалы мәнісіздігі негізінен, дәнекерлеу үдерісінен туындаған, жоғары созушы қалдық кернеулердің болуымен байланысты (6.21. Суретті қараңыз).



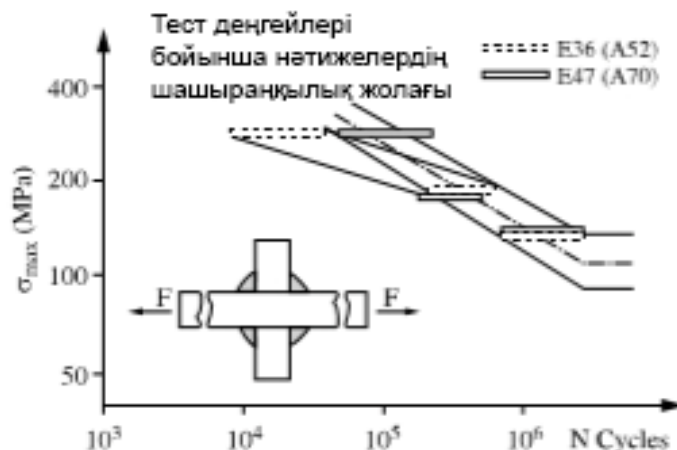
6.21.Сурет. Иілуге ұшырайтын дәнекерленген арқалықтардың (балка) қажу беріктігі ($R>0$) (A36: $YS = 240$ МПа; A44: $YS = 220$ МПа; A 514: $YS = 360$ МПа)

Алайда, тұрақсыздықтың тым жоғары шегі бар болатты пайдаланудың артықшылығы шын мәнінде кездесетін түрлі жағдайларда айқын.

Жоғары жүктеме жағдайы

Біз 6.22 суретте көрсетілгендей, жоғары кернеу диапазондарында (орташа цикл режимі) немесе жоғары орташа кернеулер жағдайында тұрақсыздық шегінің ұлғаюымен, құрастырудың қажу тәртібінің жақсаруын байқаймыз. 6.23. Сурет бұл соңғы әсерді (эффект) схема түрінде көрсетеді: Гудман-Смит диаграммасында, σ_m орта кернеуге байланысты; σ_m төмен немесе нөлге тең болғанда, сынаулар нәтижелері сызықтарда орналасады, нәтижелер салыстырылады. Керісінше, тілім тұрақсыздығының шегі әсері (эффект) σ_m [COL 82] ұлғайғанда пайда болады; жүктелудің алдыңғы екі жағдайларында біз $\sigma_{\text{макс}}$ және YS ($\sigma_{\text{макс}}$: жүктеме циклінің максималды кернеуі, YS : негізгі металл тұрақсыздығының шегі) арасындағы

арақатынасты ескеруіміз керек.



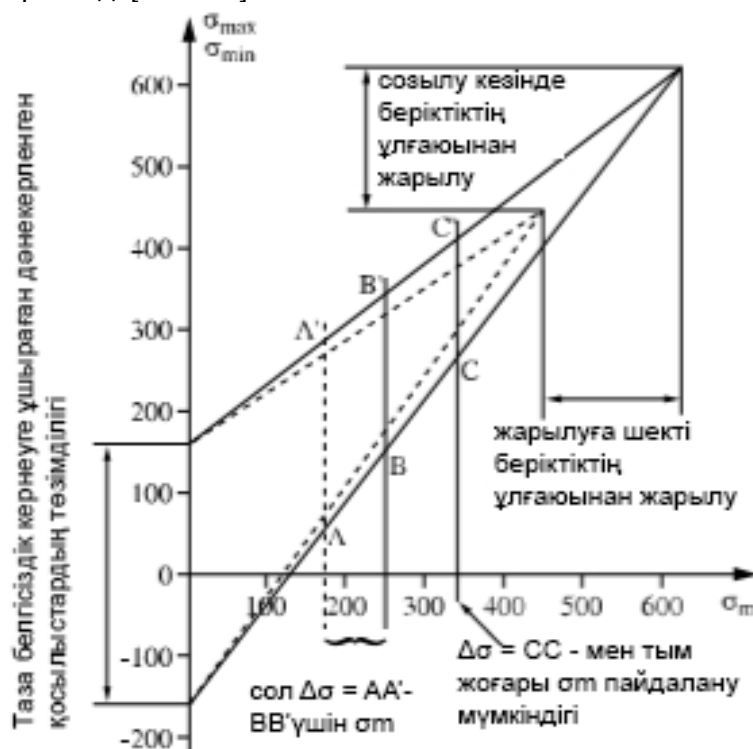
6.22. Сурет. E36 және E46 дәнекерлеу қосылыстарының қажу сипаттамаларын салыстыру (созылу-сығуға сынау); [LIE 73]-дан

Айнымалы амплитудалық жүктеме жағдайы

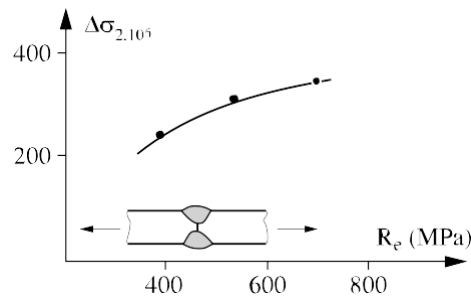
Жұмыс істеп тұрған құрастырылымда пайда болатын мұндай жүктеме, әдетте, жоғары кернеу диапазоны бар циклдердің аз мөлшерін қамтиды. Бұл стандартты жағдайда жиі тұрақсыздық шегі бар болаттарды пайдалану тиімді.

Төмен Kt -мен құрастыру корпусы

6.24. Сурет шағын артық қалыңдығы бар түйіскен дәнекерленген торап үшін $\Delta\sigma_{2 \times 10^6}$ қалыпты төзімділік шегінде негізгі табақ болатының тұрақтылық шегінің ұлғаюына қол жетерлік қолайлы әсер ететінін көрсетеді [RAB 79].



6.23. Сурет. Жоғары пайдалану сипаттамалары бар болатты пайдалану есебінен толқын тәрізді жүктемелерге ұшырайтын қажу беріктігінің артуы; [COL 82]-дан



6.24. Сурет. Табақ болаты төзімділік шегінің түйіскен дәнекерленген қосылыстар төзімділік шегіне әсері ($R = 0$); [RAB 79]-дан

b) Таза өңдеулер

Таза өңдеу әсері (тегістеу, тесу (выколотка) немесе дәнекерленген тігістің білікшесін қайта балқыту, алдын ала кернеулі дәнекерлеуді ұнтақты өңдеу және т.б.) негізгі металл тұрақсыздығының шегі [LIE 91] ұлғаятын дәнекерленген қосылыстардың қажу сипаттамаларының елеулі жақсаруын (қажу шегінің екі еселенуіне дейін) атап көрсетеді.

6.1.4.3 Қосымша жүктемелердің қасиеттері

Жүктеме үлгісі

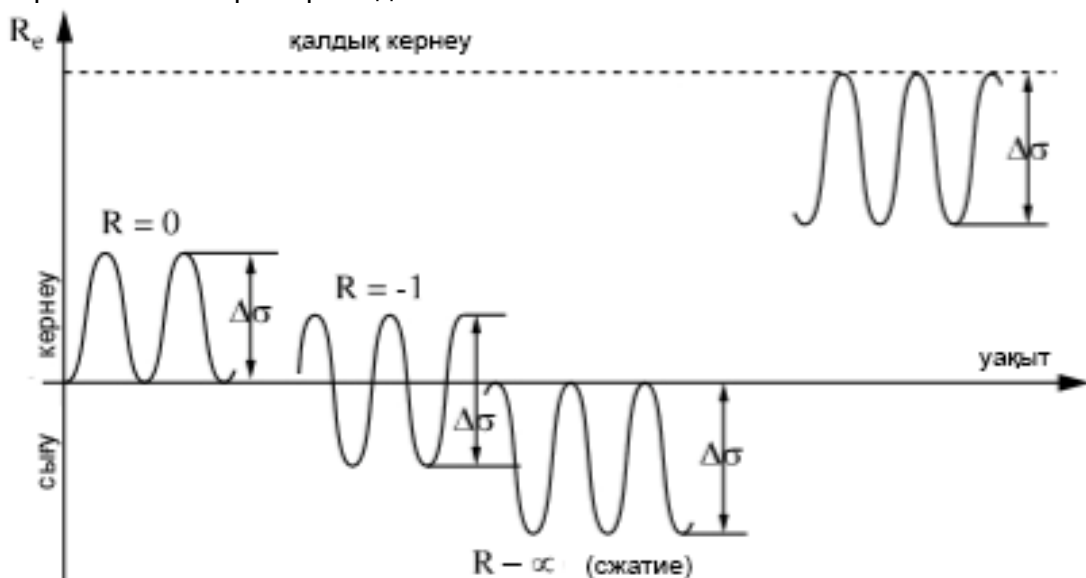
Өзара кіруші білікшелер жағдайында созылу кезінде де, иілу кезінде де алынған нәтижелерді салыстыру дәнекерлеу жігінің бөктеріне жақын кернеудің әртүрлі градиенттерін анықтайды. Бұл градиенттердің әсері қажу беріктігінің төмендеуіне әкеледі, мысалы, жүктеме иілуден созылуға ауысқанда, берілген тілімнің қалыңдығына.

Мысалы, болат дәнекерленген қосылыстың E490 түйісіне (қалыңдығы 8 мм), қайта созылуға қарағанда 30%-ке жоғары иілумен ($R = 0,1$) анықталатын $\Delta\sigma_{2 \times 10^6}$ қажу беріктігі.

Бұдан басқа, иілуге ұшыраған құрастыру, созылуға ұшыраған сол құрастыруға қарағанда, толық емес балқуға әлдеқайда сезімтал. Бұл мінездік айырмашылығы жергілікті кернеудің әртүрлі таралуымен түсіндіріледі: не дәнекерленген тігіс сыртқы бетінің шекарасында, не дәнекерленген тігістің негізінде. [LIE 92].

($R = \sigma_{min} / \sigma_{max}$) Кернеу коэффициенті

Кернеу коэффициентінің мәні (немесе жүктеме циклінің орташа кернеуі) төзімділік сипаттамаларына белгілі бір әсер етеді.



6.25. Сурет. Қалдық және сыртқы кернеулерді салу нәтижесінде кернеудің тиімді деңгейі

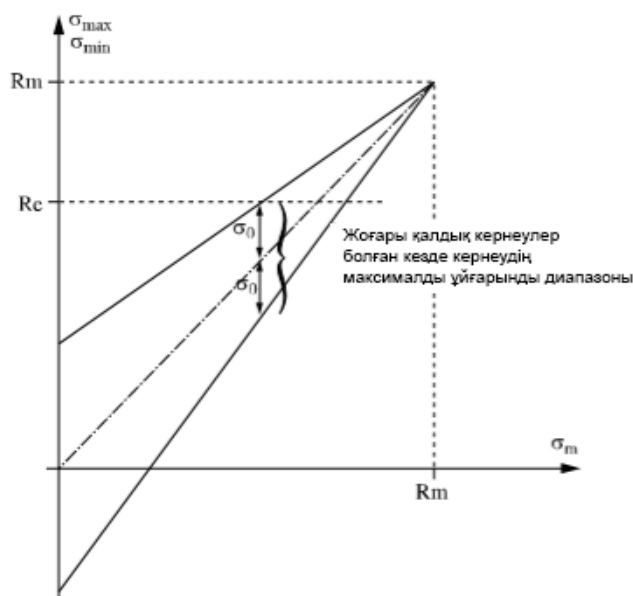
Егер $\Delta\sigma$ -бұл осы R деңгейіне сәйкес келетін 2×10^6 циклдары үшін қажу беріктігі болса, келесі өрнекті жазуға болады:

$$\Delta\sigma - 1/\Delta\sigma_0 = 1,25 \text{ и } \Delta\sigma - 0,5/\Delta\sigma_0 = 0,85$$

Бұл қарым-қатынас нақты құрылымдардан алынған шағын үлгілерде жүргізілген тесттерді пайдалана отырып алынды. Демек, үлгілердегі қалдық кернеу деңгейі нақты құрылымға сәйкес деңгеймен салыстырғанда біршама төмен (тіпті нөлдік) болды.

Тұрмыста қолдануда, жоғары қалдық кернеулердің болуы (YS-ке жақын) және оларды өлшеудің немесе термиялық жүктемелік өңдеуді жүргізудің мүмкін еместігі күтілгенде, R деңгейіне қарамастан, максималды кернеудің серпімділік шегіне теңдігі қабылданған (6.25. суретті қараңыз)

Гудман диаграммасында ($\sigma_{\max}$ немесе σ_m функциясы ретінде $\sigma_{\min}$) бұл тәжірибе, YS – ке тең, ең жоғары кернеуге сәйкес келетін, ұйғарынды кернеу дәрежесін қарастыруға саяды (6.26. Суретті қараңыз).



6.26. Сурет. Жоғары қалдық кернеулер болған кезде кернеудің ең жоғары рұқсат етілген диапазонын дәнекерлеу қосылысына қатысты Гудменді диаграммада анықтау [COL 82]

Жоғары қалдық кернеулер болған кезде кернеудің максималды ұйғарынды диапазоны
Жүктеменің кешенді мәні

Әдебиеттегі бірнеше нәтижелер кешенді жүктеме мысалдарына жатады. Алайда мұндай жағдайлар кейбір есептеу әдістерінде қарастырылған. Әдетте, біз [СТІ 00] білікке перпендикуляр қосылған ең үлкен басты кернеуді қарастырамыз.

6.2. Механикаландырылған дәнекерлеудегі қосылыстардың мөлшерін анықтау

Қажу мінезі механикаландырылған дәнекерлеу құрылымдарын әзірлеушілер үшін негізгі мәселе болып табылады. Бірнеше жобалау әдістері әдебиетте ұсынылған [LIE 00 a]. Әрбір әдістің артықшылықтары мен кемшіліктері мұнда ұсынылған. Бұл мәнмәтінді назарға ала отырып, екі әдіс толығырақ сипатталған: номиналды кернеу дәрежесіне негізделген әдіс және геометриялық кернеуге негізделген әдіс [LIE 00b].

6.2.1. Мәселе жағдайы

Дәнекерленген құрастырылымдардың қызмет мерзімі, шынында да

айтарлықтай дәрежеде, ол ұшырайтын циклдік жүтемемемен анықталады. Ол қосымша жүктемені түсінуден, әрбір құрастыру үшін бағалануы тиіс. Шын мәнінде, артықшылықтары мен кемшіліктері бар жобалаудың бірнеше әдістері ұсынылды (6.1-кестені қараңыз).

Номиналды кернеу диапазонының тұжырымдамасына негізделген тым жалпы әдіс, $\Delta\sigma_n$ - ол қазіргі уақытта процедураларда ұсынылады. Ол S-N қисық желісінде (немесе $S = \Delta\sigma_n$ және N : : істен шыққанға дейінгі циклдар саны) құрастырылымның негізгі қолданылатын бөлшектеріне сәйкес негізделген.

Геометриялық құрылымдық кернеу әдісі, осы құрастырудың геометриясымен қол жеткізілетін, қаттылық әсерлерін ескере отырып, S-N қисықтарының санын азайтуға бағытталған. Ол құрастырылымды әрбір құрастыруда тиісті геометриялық құрылымдық кернеуді анықтау үшін соңғы элементтер немесе экстензометриялық өлшемдер әдісімен есептеуді талап етеді. Бұл әдіс соңғы ережелерде көрсетілген.

Тіліктің шыңында кернеуді немесе деформацияны (өзгеруді) пайдалану, құрастыру геометриясын ғана емес, сондай-ақ дәнекерлеу жігінің сыртқы бетінің шекарасы сияқты қажудан жарылудың әлеуетті бастапқы нүктесінде тікелей жергілікті геометрияны, дәл анықтауды талап етеді. Бұл жергілікті геометрия дәнекерлеу үдерісіне байланысты дәнекерлеу тігісінің бөктері бойымен өзгереді және мұндай анықтауды проблемалы етеді.

6.1. Кесте. Жобалаудың әр түрлі әдістері

	Әдістер				
	Номиналды кернеу дәрежесі	Қапыл (горячие) нүктелер әдістері		Бұзылу механикасы	Жергілікті деформациялар ауқымы
		Геометриялық құрылымдық кернеу	Белгі деңгейіндегі кернеу		
Артықшылықтары	Геометриялық әсерді есептеумен бекітілген S-N қисықтары: <i>құрастыру дәнекерлеу.</i>	Барлық құрастырулар үшін тек қана бір қисық Дәнекерленген тігістің сапасында өзгерулер қосылған.	Кернеуді нақты анықтау. S-N қисығы геометрия әсерін ескереді : <i>құрастыру дәнекерлеу.</i>	Барлық құрастырулар үшін тек бір қисық жарылу жеткілікті. Тек қана жарылу құрастырылымдарда қолданылады.	Барлық құрастырулар үшін тек бір $\Delta\epsilon - N$ қисығы жеткілікті
Кемшіліктері	Құрастырудың жаңа түрлері үшін қолдану қиыншылығы. Номиналды кернеуді анықтаудағы қиыншылықтар: <i>күрделі құрылымдар аралас жүктемелер кезінде.</i>	Геометриялық кернеу көбінесе экстраполяцияның қолданылатын әдісіне байланысты болады. <i>Аспаптар бойынша өлшеу Соңғы-элементтік есептеулер</i>	Дәнекерлеудің геометриясында жергілікті өзгерістердің себебі бойынша максималды кернеуді анықтау қиыншылықтары <i>не калибрі бойынша не соңғы элементтер әдісімен.</i>	Дәл емес әдіс, өйткені ол дәнекерленген тігіс жергілікті геометриясын ың әсерін ескермейді : ($N_{ввода} = 0$).	Дәнекерленген тігіс геометриясының жергілікті деформациясы диапазонын бағалауда қиыншылық

Бүліну механикасы оның жарылудан кейін құрастырылымды ескереді және, демек, айтарлықтай дәрежеде дәнекерлеу сапасына байланысты жарылудың пайда болу кезеңін ескермейді. Осылайша, алынған төзімділік әдепкі қалпы бойынша болады.

Осы тарауда олардың ағымдағы маңыздылығы тұрғысынан біз алғашқы екі әдіспен талдаймыз.

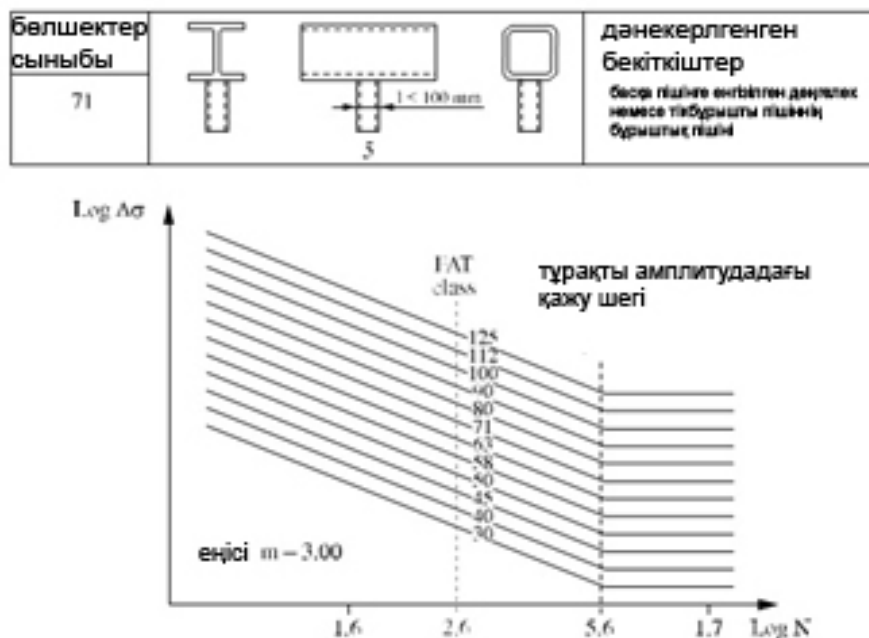
6.2.2. Жалпы әдіс (Қолданыстағы тәртіп)

Қажу бойынша қазіргі заманғы нормативтерде (мысалы, Еврокод 3, азаматтық құрылысқа арналған рәсім) S-N қисықтары дәнекерленген қосылыстың өлшемін анықтау үшін қолданылады [EURO 92].

Бұл қисықтар үшін $N = C \cdot S^{-m}$ теңдеу болып табылады, мұнда N - циклдар саны, S - номиналды кернеу диапазоны, ал C, m - дәнекерленген қосылысқа байланысты коэффициенттер. Қарастырылып отырған құрастырудың қай сыныпқа жататынын және қандай S-N қисығы қолданылатынын анықтауға мүмкіндік беретін қисықтардың егжей-тегжейлі тізімдемесі берілген. Жалпы сынып 2×10^6 циклдарында номиналды кернеу диапазонының сипаттамалық мәніне (қолайлы) сәйкес келеді (6.27. Суретті қараңыз).

Тұрақты амплитудасы бар жүктеме үшін қолайлы циклдар санын беретін S-N қисықтарының келесі теңдеуі болады: $N = C \cdot \Delta \sigma^{-m}$, $m = 3$ және 5×10^6 циклдары үшін анықталған кернеудің қалыпты шегі.

Айнымалы амплитудасы бар жүктеме үшін (пайдалану үдерісінде) кумулятивтік бүліну әдісін қолдана отырып (Майнер ережелері), S-N таңдалған қисықтары $N = C \cdot \Delta \sigma^{-m}$ ретінде көрсетіледі, $N < 5 \times 10^6$ циклдары үшін $m = 3$, $N > 5 \times 10^6$ циклдары үшін $m = 5$ және $N > 10^8$ циклдары үшін кесу шегі.



6.27. Сурет. Тізімдемеден үзінді және S-N есептеу қисығы

Дәнекерленген тігістің сапасы қолданыстағы дәнекерлеу ережелерімен қойылатын талаптарға сәйкес болуы тиіс.

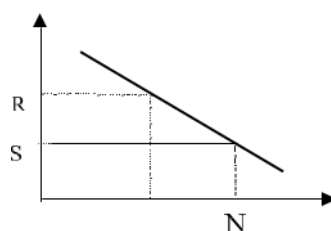
6.2.3 Тексеру әдістері

Тұрақты амплитудасы бар жүктеме жағдайында қажу дәнекерленген құрастырылымның мөлшерін тексеру немесе анықтау келесі өрнекті тексеруге апарады:

(осы циклдар саны үшін n) $\Delta \sigma_{S,k} \cdot \gamma_F \leq \frac{\Delta \sigma_{R,k}}{\gamma_M}$ біле тұра,

$\begin{cases} \Delta \sigma_{S,k} & \text{Құрастырылымға (жүктемеге) түсірілген кернеулер диапазоны, } \gamma_F \\ \Delta \sigma_{R,k} & \text{жобалық кернеу диапазоны, } \gamma_M \text{ қауіпсіздік коэффициенті} \end{cases}$

немесе $n \leq N$ тексеру, мұнда n – қолданылатын циклдар саны және N- $\Delta \sigma_s$ кернеуінен бас тартуға дейінгі циклдар саны.



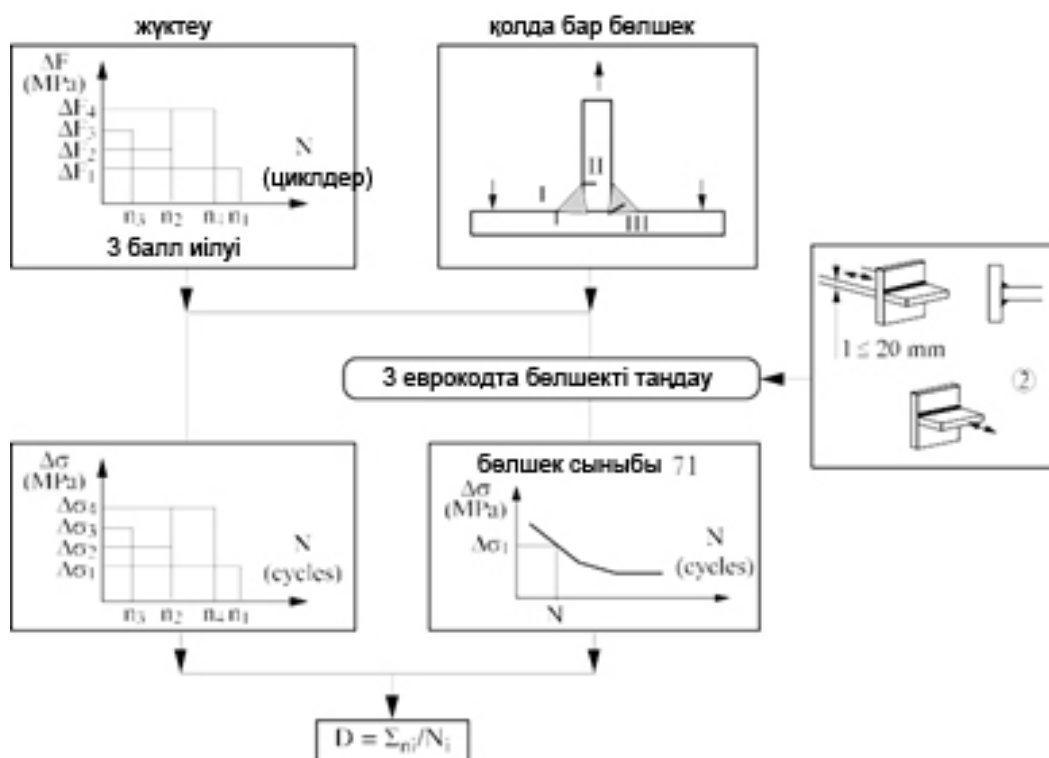
6.28. Сурет. Амплитуда бойынша тұрақты жүктеме кезінде қажу жағдайында дәнекерленген құрастырылымды тексеру

Қажуды тексерудің жалпы әдістемесі 6.29. Суретте көрсетілген.

Артықшылықтары және кемшіліктері

Бұл әдіс, номиналды кернеу нақты анықталса, ал құрастыру түрі тізімдемеде көрсетілген болса, пайдалануға қатысты оңай болады. Екінші жағынан, жалпы жағдайда (күрделі құрылым/ жүктеме) номиналды кернеу материалдар кедергісі шеңберінде әрдайым айқындала алмайды, ал есептеу жүйесі белгісіз.

Сонымен қатар, номиналды кернеу құрастыру геометриясын ескермейді. Мысалы, онда дәнекерленген бекітпенің немесе тиісті дәнекерленген тігістің болуы, демек, олармен берілетін қаттылық ескерілмейді. Сондықтан S-N қисығы әрбір құрастыру түрі үшін және сол бір құрастыру үшін құрастыру өлшеміне және жүктеме түріне байланысты бірнеше қисық болуы мүмкін.



6.29. Сурет. Жалпы әдістің логограммасы

6.2.4. Геометриялық құрылымдық кернеу әдісі

6.2.4.1. Әдістің принципі

Осылайша, құрастырудың жалпы геометриясын ғана емес, сондай-ақ дәнекерленген тігістің пішінін, табақты металдың негізімен осы тігісті қосу пішінін және жергілікті тіліктермен металды қамтитын дәнекерленген қосылыстың геометриялық әсерін ескеретін, кернеудің басқа анықтамасын пайдалану орынды (6.30. Суретті қараңыз).

Сонымен бірге, жергілікті кернеуді анықтау эксперименталды және есептеудегі

қиындықтарға байланысты; сонымен қатар, мұндай кернеу, дәнекерлеу операцияларынан туындаған жергілікті геометриялық өзгерістерге байланысты мән бойынша кездейсоқ болып табылады. Алайда, бұл жергілікті кернеудің шамасы белгілі бір дәрежеде құрастырудың қажу төзімділігін анықтайды. Бұл кернеу әсіресе қажудан жарылудың ұзақтығына әсер етеді.

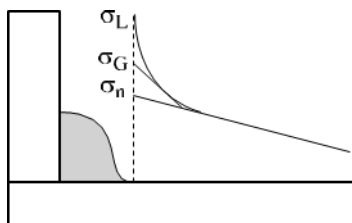
Демек, аралық кезең құрастыру және жүктеме геометриясына ғана байланысты болатын BG геометриялық кернеуді есептеу кернеуі ретінде қабылдаудан тұрады.

Бұл әдіс дәнекерлеудің геометриялық сапасы тұжырымдамасы біршама маңызды болатын дәнекерлеу жігінің бөктерінде іске қосу үшін ғана қолданылады.

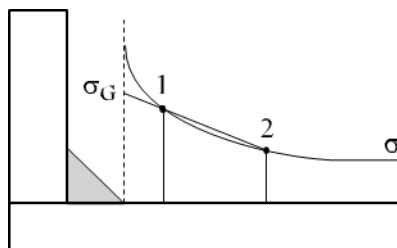
Номиналды кернеулер үшін орнатылған қолданыстағы қисықтармен салыстырғанда, геометриялық құрылымдық кернеулерге арналған S-N қисықтарын құрудың артықшылығы: біз құрастырудың бір тобы үшін (мысалы, бұрыштық тігістер) жүктеме және геометрияға тәуелсіз бір ғана SN қисығын пайдалана аламыз. Сонымен қатар, жиі номиналды (қашықтағы) кернеуді нақты конструкциялар үшін анықтау қиын, атап айтқанда, басқа қосылыстардың жақындығынан, геометриялық құрылымдық кернеу барлық қарастырылып отырған құрастырылым мен құрастыру үшін түпкілікті элементтерді пайдалана отырып есептеулерден бастап бағалануы мүмкін.

Сонымен қатар, осы S-N қисықтарынан бастап, қазіргі уақытта кодтарда жоқ құрастырудың кейбір конфигурацияларының өлшемдерін анықтауға болады. Осыдан кейін геометриялық құрылымдық кернеуді пайдалану дәнекерлеу сапасына сәйкес S-N қисықтарын анықтауға және сол арқылы дәнекерленген тігістің жергілікті геометриясын ескеруге мүмкіндік береді.

Алайда, қазір геометриялық құрылымдық кернеуді немесе дәнекерленген тілімдерді құрастыру тобының әрбір түрін қамтитын тиісті S-N қисығын анықтаудың қандай да бір жалпы тәсілі жоқ. Екінші жағынан, мұндай әдіс нақты анықталған және теңіз мұнай мұнарасын салу кезінде құбырлы құрастырулармен, сондай-ақ автомобиль өнеркәсібіндегі жұқа қабатты болаттан жасалған құрастырулармен пайдаланылады [Fay 95].



6.30. Сурет. Жергілікті (σ_L), геометриялық (σ_G) и номиналды (σ_n) кернеулерді (мысалы: иілу кернеуіне ұшыраған құрастыру) анықтау



6.31. Сурет. Кернеу градиенті, экстраполяция

6.2.4.2. Геометриялық кернеуді анықтау

3 Еврокодта геометриялық кернеу былайша анықталады: "құрастырылым белгілі бір бөлшегінің жалпы геометриясына байланысты, кернеулер шоғырлануының әсерін ескере отырып, дәнекерлеу жігінің бөктерінде негізгі металдағы ең жоғары негізгі кернеу, бірақ білікше және жапсарлас негізгі металда дәнекерлеу және үзілулер геометриясынан жергілікті кернеулер шоғырлануының әсерлерін қоспағанда".

Осылайша, геометриялық құрылымдық кернеу құрастырулар және жүктемелердің жалпы геометриясын ескеретін құрастырылымның немесе өлшемдердің аспектісі болып табылады; осылайша, оның білікшенің дәнекерленген жігінің нақты геометриясын

ескермейтіндіктен, физикалық мағынасы жоқ. Ол дәнекерленген тігіс бөктерінен оң жағында қиылысатын кернеу элементі ретінде анықталады (6.31 суретті қараңыз).

Оны соңғы элементтер әдісі арқылы сандық шама ретінде алуға болады. Соңғы элементтер әдісінің артықшылығы - ол кернеудің ең жоғарғы мәнін ғана емес, сонымен қатар ең үлкен жүктеме нүктесін (қызба (горячий) нүкте)), сондай-ақ бүкіл құрастырылымдағы кернеу өрісінің конфигурациясын анықтауға мүмкіндік береді.

Қолдануы мүмкін салалар

Номиналды кернеуді оңай анықтау жағдайында және есептелетін нысан өндірістік тізімдемелерде бар болған жағдайда дәстүрлі әдісті қолдануға болады. (номиналды кернеуде S-N қисығы).

Басқа жағдайларда геометриялық құрылымдық кернеу соңғы элементтерді есептеуді бастаудан анықталу керек, және ол геометриялық құрылымдық кернеудің анықталуымен осындай анықталуымен S-N қисықтарымен байланысты болуы керек.

Құрылымдық геометриялық кернеуді анықтау

Соңғы элементтердің қолданылатын әдісі 2 өлшемшартқа (критерийге) сай болу керек:

- шындыққа неғұрлым жақын дәнекерлеу жігінің бөктеріне жақын кернеулер өрісін бағалау,
- тез және арзан қолданудың нәтижесі.

Бұл үшін таңдалған элементтің түрі барынша қарапайым болуы керек. Беттің қиылысу сызығының бойында орналасқан барлық элементтердің бірдей өлшемі болуы тиіс немесе, кем дегенде, қиылысқа перпендикуляр бағытта орналасуы тиіс; осылайша, нәтижелерге ұяшық мөлшері жағымсыз әсер етуі мүмкін. Сонымен қатар, кернеу есептелген нүктелер (Гауссион нүктелері) дұрыс орналастырылуы маңызды, яғни үш өлшемді құрылымы бар аймақтан тыс және, мүмкін болса, дәнекерлеу жігінің бөктерімен тікелей байланысты орналастырылуы керек.

6.2.4.3. Әдісті тәжірибеде (практикада) пайдалану

Геометриялық шектеу әдісі төменде сипатталған нүктелерге қолданылады.

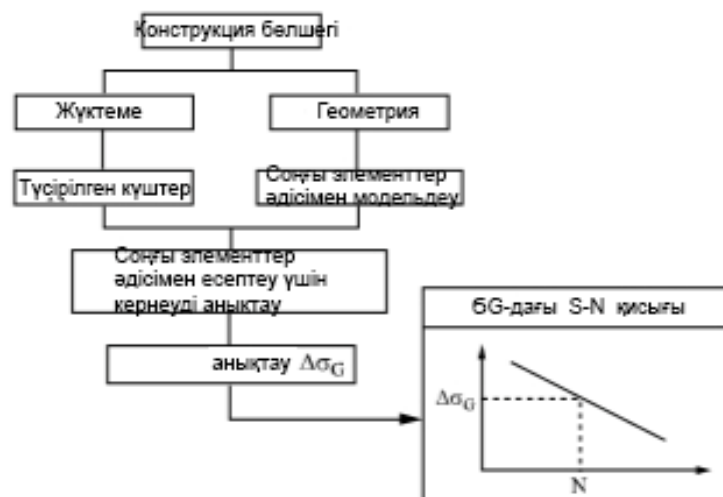
Құрылымдық геометриялық кернеуде S-N есептеу қисығын анықтау

Құрылымдық геометриялық кернеу бойынша S-N есептеу қисығы, есептік немесе өлшенген кернеу дәрежесі геометриялық кернеумен көрсетілген кезде, ал циклдар саны істен шығу өлшемшартына (критерийіне) сәйкес анықталған кернеу диапазонының осы деңгейіне сәйкес келетін, құрастыруларда жүргізілген сынақтардың нәтижелері бойынша анықталуы мүмкін.

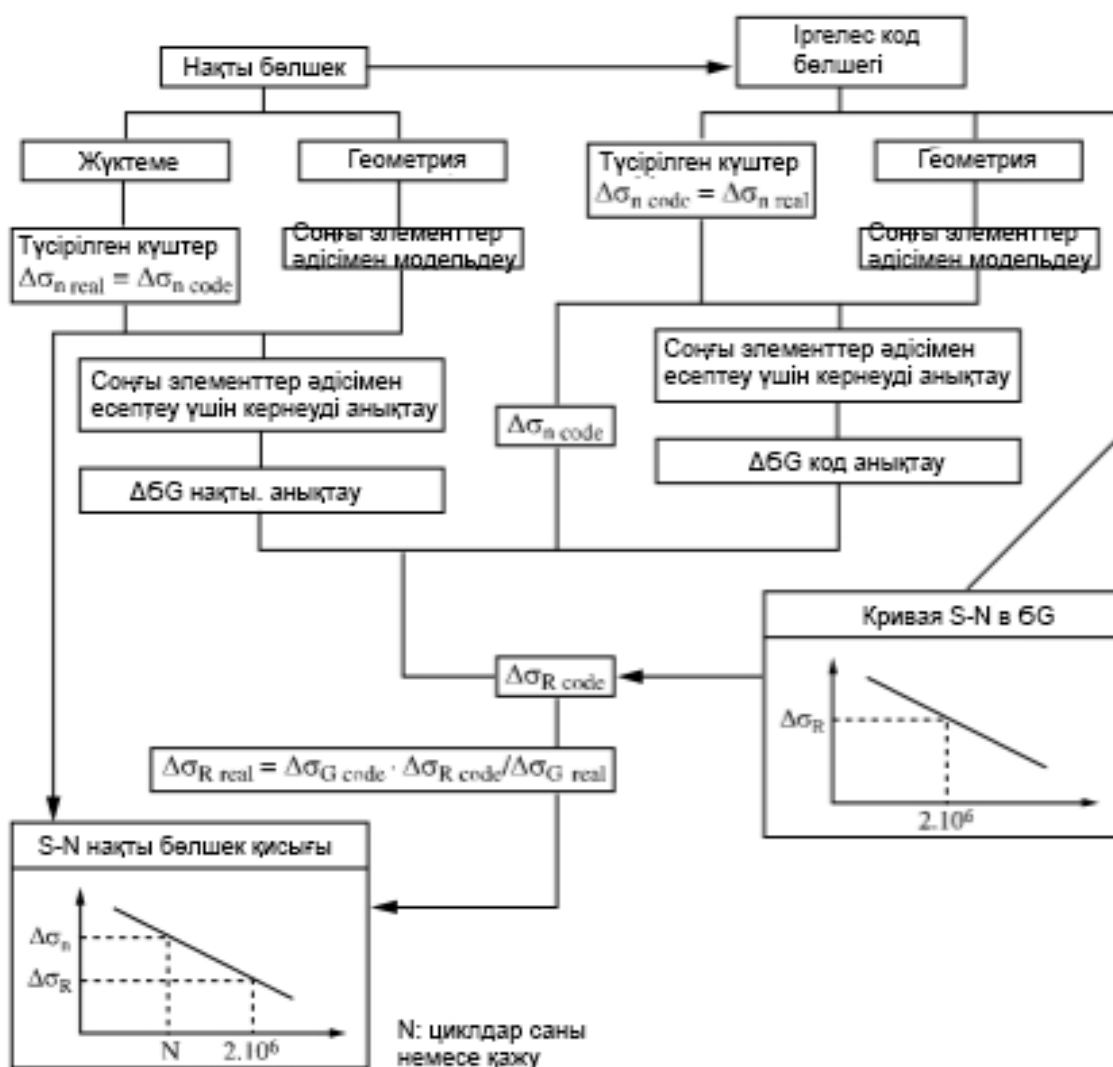
6.32. Суретте құрылымдық геометриялық кернеуде S-N қисығын анықтау үшін орындалуы керек кезеңдер берілген.



6.32. Сурет. Геометриялық кернеуде S-N қисығын анықтауға арналған рәсім (процедура)



6.33. Сурет. Құрастырудың төзімділігін анықтау үшін қолданылатын рәсім



6.34. Сурет. Қаралатын заттың S - N жаңа қисығын шығару рәсімі

Геометриялық (құрылымдық) кернеудің тексерілетін құрастырылым түрінің S-N қисығын біле отырып, әдіс құрастырудың қажу төзімділігін анықтауға мүмкіндік береді, N (6.33. Суретті қараңыз).

Құрастырылымның жаңа бөлшектерінің номиналды кернеуі бойынша S-N есептеу

қисығын анықтау

Эксперименттік нәтижелер болмаған кезде геометриялық (құрылымдық) кернеу әдісі стандартты тізімдемеге немесе нормативтік құжаттарға үйлес, құрылыс объектісінің номиналды кернеуі бойынша, SN есептік қисығын анықтау үшін қолданылуы мүмкін [НУТ 92].

Бұл жағдайда біз алдымен, қарастырылып отырған объектінің S-N жаңа қисығын шығарар алдында, қарастырылып отырған құрастыруды да, тізімдемені де сандық модельдеуге кірісеміз, (6.34. суретті қараңыз).

6.3 ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- [COL 82] COLLECTIF, La resistance a la fatigue des assemblages sondes a l'arc en acier de construction metallique, Collection ATS-OTUA, 1982.
- [COL 85] COLLECTIF, Guides pratiques sur les ouvrages en mer, Assemblages tubulaires soudes, Editions Technip, 1985.
- [CTI 00] CTICM, Recommandations pour la conception en fatigue des assemblages et des composants soudes, IIS - Document XIII - 1539-96, CTICM, 2000.
- [EUR 92] EUROCODE, Design of Steel Structures - Chapter 9: Fatigue EUROCODE 3 (1992).
- [FAY 95] FAYARD J.L., BIGNONNET A., DANG VAN K., "Fatigue design of welded thin sheet structures", Fatigue Design 95, vol. II, September 1995.
- [GUR 79] GURNEY T.R., Fatigue of Welded Structures, Cambridge University Press, 1979.
- [HUT 92] HUTHER M., PARMENTIER G., HENRY J., Hot spot stress in cyclic fatigue for linear welded joints, IIS - Document XIII - 1466-92, 1992.
- [HUT 94] HUTHER I., PRIMOT L., LIEURADE H.P., JANOSCH J.J., COLCHEN D., DEBIEZ S., "Influence de la qualite de la soudure sur la resistance a la fatigue d'un acier HLE du type E460", Tole en acier HLE, choix et mise en volume, Publications CETIM, 1994.
- [HUT 99] HUTHER I., GORSKI S., LIEURADE H.P., LABORDE S., RECHO N., "Longitudinal non-loaded welded joints, geometric stress approach", Welding in the World, vol. 43, no. 3, p. 20-26, 1999.
- [LIE 73] LIEURADE H.P., "La resistance a la fatigue des assemblages soudes", Journees "Metallurgie du soudage" (Societe Franjaise Metallurgie), Marseille, 8-9 November 1973.
- [LIE 91] LIEURADE H.P., BIGNONNET A., "Les techniques d'amelioration de la tenue en fatigue des composants soudes", Traitements de surface et composants mecaniques, Editions CETIM, p. 79-112, December 1991.
- [LIE 92] LIEURADE H.P., WYSEUR M., TOURRADE J.C., "Effet de traitements de parachevement sur le comportement en traction ondulee ou en flexion ondulee d'assemblages bout a bout en acier E 490", La fatigue des composants et des structures soudes, Publication CETIM, 1992.
- [LIE 97] LIEURADE H.P., "Role des contraintes residuelles dans le comportement en fatigue des composants soudes", Revue Frangaise de Mecanique, no. 1997-3, p. 191-205, 1997.
- [LIE 00a] LIEURADE H.P., HUTHER I., "Introduction aux methodes de dimensionnement a la fatigue des composants soudes", Mecanique et Industrie, vol. 1, no. 5, p. 465-477, 2000.
- [LIE 00b] LIEURADE H.P., HUTHER I., "Dimensionnement des assemblages soudes en mecano-soudage, Calcul a la fatigue", Soudage et Techniques convexes, p. 3-8, May-June 2000.
- [MAD 80] MADDOX S.J., Effect of misalignment on fatigue strength of transverse butt welded joints, IIS - Document XIII - 972-80, 1980.
- [MAD 98] MADDOX A., Private comm., 1998.
- [RAB 79] RABBE P., BLONDEAU R., CADIOU L., "Emploi des toles a haute limite d'elasticite dans les constructions soudees sollicitees en fatigue", Actes du Congres sur les aciers a haute limite d'elasticite, Versailles, January 1979.

7 тарау.

Дәнекерлеу қосылыстарының бұзылуының тұтқырлығы

7.1 Пластикалық және морттық бұзылуы

Әдетте, өндірушілер қызмет көрсетуден бас тарту тәуекелін болдырмау мақсатында құрылымдарды өлшейді, атап айтқанда, материалдың кез келген асып кетуін, тіпті локалды, ағымдылығының шегін болдырмайды. Осыған қарамастан, жұмыста іркілістер әр түрлі себептерден болады:

- жүктеменің ерекше шарттары;
- шаршаумен, кернеудегі коррозиямен, сутекті морттықпен байланысты прогрессивті жарылу;
- температураның төмендеуі нәтижесінде пайда болатын пластикалық-морттық түрдің ауысуына байланысты мінез-құлықтың өзгеруі.

Созымдылығының жоғалуынан болған морттық қирау XIX ғасырдың екінші жартысында алғаш рет зерттелді.

Дәнекерлеу жұмыстарының дамуымен және ірі габаритті құрылымдарды салу үшін оларды қолданумен ірі, жиі апатты, жұмыстың істен шығуларының белгілі бір саны пайда болды. Ең танымал мысалдардың арасында көпірлердің жұмысындағы істен шығулар (1936 жылы Берлин зоопаркінде, 1938 жылы Рудесдорф пен Хасселтте) және резервуарлардың жұмысындағы істен шығуларды атауға болады. Екінші дүниежүзілік соғыс кезінде механикаландырылған дәнекерлеумен салынған 5000-ға жуық кемеңіз төрттен бірі күрделі істен шығуға тап болды, ал 200-ден астамы жұмыста апатты істен шығудан зардап шекті.

Зәкірдегі Schenectady мұнай танкері, қандай да бір ерекше жүктемесіз, бірде 1942 жылдың қысында классикалық үлгі болып табылады (7.1 сур. қараңыз).

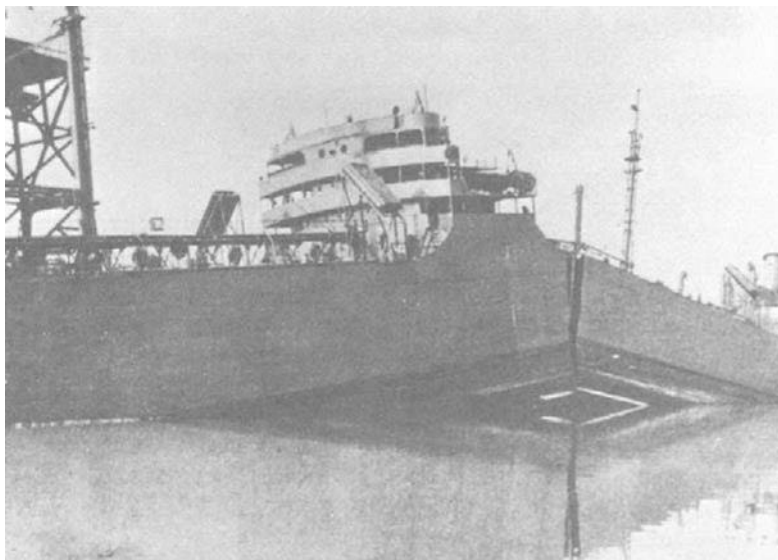
Соғыстан кейін бірден осы құбылысты зерттеу және тәуекелдерді азайту мақсатында ірі жұмыс жүргізілді. Вашингтондағы әскери-теңіз зерттеу зертханасының командалары үлкен жұмыс орталығында жұмыс істейді, әсіресе, оның жұмысы әлі күнге дейін үлгі болып табылады, В. С. Пеллинимен және Г. Р. Ирвин.

Олар тұтқыр-морттық өту температурасын зерттеуге және дәнекерлеу жігінің ақауларын есепке ала отырып, бұзылу механикасының концепциясын әзірлеуге шоғырланды.

Металлургия инженер-механиктерінің зерттеуімен қатар келесіге күштерді жұмсады:

- пластиктен морттық күйге өту температурасы төмен болған кезде ағымдылық шегінің жоғары деңгейін ұсына отырып, дәнекерлеудің жеңіл түрін жасау (көміртекті эквивалентті төмендету арқылы);

- морттықты және ақаулардың болуын төмендету мақсатында дәнекерлеу процестерін әзірлеу.



Сурет 7.1. «Schenectady» танкер зәкірінде жұмыстан бас тарту.

Осы күш-жігерге қарамастан, басқа да ақаулықтар (көпірлер, құбырлар, қысымдағы түтіктер, кемелер және т.б.) туындады. Тойода [TOY 00] көрсетіп отырғандай, Кобе мен Солтүстік көпірдегі жер сілкіністері кезінде келтірілген залалдың айтарлықтай бөлігі келесі жағдайларға байланысты болды:

- қалдық кернеулер қосылуы мүмкін жүктеменің деңгейінің жоғарлауы;
- құрастыру геометриясынан кернеу концентрациясының болуы, жарықтар түрінде ақаулардың болуымен;
- пайдалану температурасына төмен төзімділігімен материалдар.

Халықаралық дәнекерлеу институтында (ағылш. IIW - International Institute of Welding), оның алқасы жыл сайын жиналатын, жұмысы дәнекерлеу конструкцияларының бұзылуын зерттеуге арналған X комиссиясы бар. Негізгі қозғалған тақырыптар негізгі және балқытылған металл (сәйкессіздігімен сипатталатын) мен қалдық кернеулердің рөлінің арасындағы біртектілікті есепке ала отырып, пайдалануға жарамдылыққа қатысты. Механикаландырылған дәнекерлеу конструкцияларының бұзылу себептерін талдау мақсатында жұмыс тобы құрылды.

IIW жұмысы Францияға дәнекерлеу үзілісін зерттеу бойынша консультативтік комитет шеңберінде беріледі, X комиссиясының айналы бейнесі. Бұл кеңес беруші орган (CCRS) l'Institut de Soudure (Француз дәнекерлеу институты) және La Société des Ingénieurs Soudeurs (франц. SIS-дәнекерлеушілер қоғамы) қолдау алады.

7.2 Металл материалдарды бұзу тәуекелін бағалау

Конструкциялық болаттардың бұзылу қаупін бағалау бастапқыда тұтқыр-морттық өту температурасының көмегімен жүзеге асырылды. Кейінірек, соққы тұтқырлығы тұжырымдамасын енгізу жүктеме жағдайына байланысты жазықтықтың ақауының әсері туралы пікір айтуға мүмкіндік берді. Барлық жағдайларда негізгі материалдарды сипаттау үшін сынақтар жасалды.

7.2.1 Иілімдіден морттық жағдайға өту температурасын анықтау

Бастапқыда зерттеулер негізгі материалдардың Шарпи сынағын және Пеллини, Батель, Шнадт сынақтарын сынау үшін үлгілерді пайдалана отырып, тұтқыр-морттық ауысуын түсінумен байланысты болды [SAN 74].

Соққы сынағын немесе Шарпи бойынша сынауды алмастырған соққы кезінде бүгілу

сынағы әлі де иілімді жағдайдан морттық жағдайға өту температурасын бағалау үшін кеңінен қолданылады. Әдетте, сынауға арналған үлгілер (55x10x10 мм³) V-бейнелі ойығымен 45° 2 мм тереңдігімен параллелепипедті брустар болып табылады. Сыну Шарпи маятнігінің көмегімен алынады (7.2 сур. қараңыз).

Кейбір үлгілер қисықтарды құру үшін әр түрлі температураларда сыналады:

- температураға байланысты соққылы бүгілудің (Дж-да көрсетілген) энергиясы (сур. 7.3.),

- температураға байланысты кристалдылық деңгейі,

- температураға байланысты бүйірлік кеңейту (пластификациямен байланысты).

Осы қисықтардан біз, атап айтқанда, пластикалық сатыға сәйкес келетін бүгілу энергиясын, сондай-ақ тиісті температураны анықтай аламыз:

- илемді-морттық өтуге (T_t),

- 50% кристаллдықты,

- 28 Дж кезінде бұзылу энергиясы.

Шын мәнінде өту температурасы материалдың ішкі қасиеті емес. Анықталған, ол өседі:

- бөлшектің қалыңдығын арттыру,

- жүктеу жылдамдығын арттыру,

- кесу түбіндегі күрт/ бұрыштың ұлғаюымен.

К. Кална [KAL 00] h қалыңдығымен құрылымдық элементіне өту температурасының TT_h әсерін бағалауға мүмкіндік беретін формуланы береді:

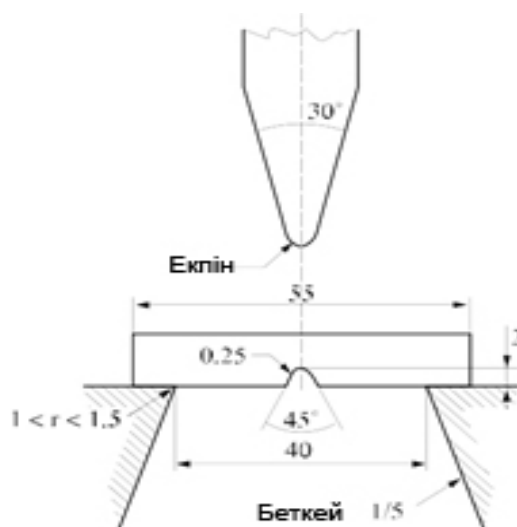
$$TT_h = T_{50\%} + 30 \ln \left(\frac{h}{10} \right)$$

мұнда $T_{50\%}$ қалыңдығы 10 мм соққы бүгілуіне сынауға арналған үлгі үшін өту температурасына сәйкес келеді.

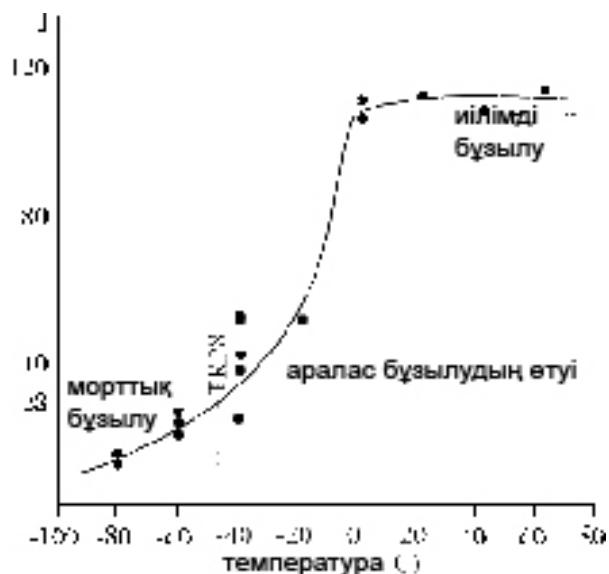
Н деформация жылдамдығы мен өту температурасы арасында келесі өрнек бар:

$$\dot{\varepsilon} = A_{exp} \left(-\frac{Q_A}{RT} \right)$$

мұнда A - бұл константа, Q_A - құбылысты активтендіру энергиясы, R - идеалды газдардың константасы, ал T - абсолютті өту температурасы.



Сурет 7.2. Соққы бүгілуіне сынауға арналған үлгі; [NF 90]-ден



Сурет 7.3. Тұтқыр-морттық өту қисығы; [BAL 97]-ден

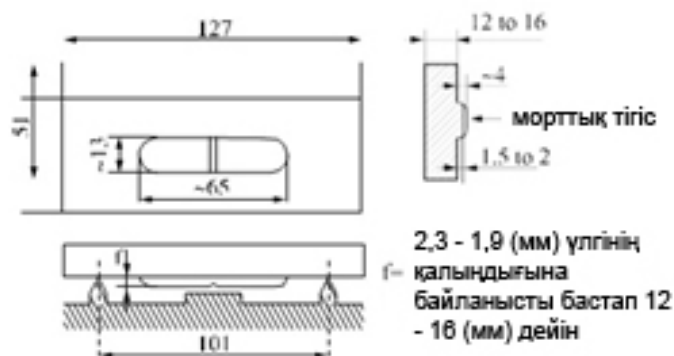
Шарпидың салыстырмалы арзан сынағы кеңінен қолданылады және 100 жыл өткеннен кейін көптеген зерттеулердің объектісі болып табылады, бұл туралы, 2001 жылы осы тақырып бойынша ұйымдастырылған, конгресс куәландырады.

1970-ші жылдардың басында күш-уақыт графиктерін талдау жолымен бұзылудың әр түрлі фазаларын бөлу мақсатында соққы бүгілуге сынауға арналған құрылғыға қатысты жұмыс жүргізілді [SAN 69]. 1995 жылдан бастап SF2M "Аспапты Шарпи" жұмыс тобы зерттеу жүргізді, оның мақсаты морттық өрісте соңғы элементтер әдісімен есептеу арқылы соққы сынағын сандық моделдеу болды. Бұл нәтижелерден, механикалық бұзылудың жергілікті тәсілін пайдалана отырып, материалдың соққылық тұтқырлығын бағалауға болады.

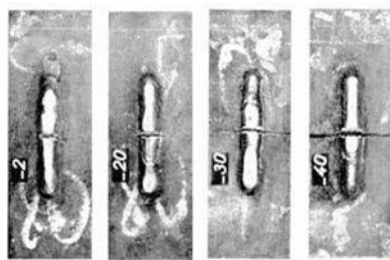
16MnNiMo5 қысымдағы ыдыс болатынан Россолдың жұмысы осы салада қызықты үлес қосады [ROS 98].

Пеллини әзірленген бұзуға әртүрлі сынақтар арасында [PEL 71], массаны берілген биіктіктен үлгіге лақтырудан тұратын, морттық дәнекерленген тігістен жасалған саңылаулы жабыны бар, біз құлайтын жүкпен сынақты қарастырамыз (7.4 сур. қараңыз). Үлгі бүгілуге ұшырайды және оның деформациясы шектеулі. Соққының әсерінен валик қирайды, ол термиялық әсер ету аймағын кесіп өтетін (ағылш. HAZ - heat affected zone) ұсақ жарықты жасайды. Сынау жүргізілетін температураға байланысты, негізгі металда жарық үлкен немесе аз дәрежеде таралады. Қаңқаның көмегімен біз, сынауға арналған үлгіні бұзуға әкелетін, ең жоғары температураны анықтай аламыз (7.5 сур. қараңыз).

Бұл температура NDT (ағылш. nil ductility transition - нөлдік икемділік жағдайына ауысу) деп аталады. Кеме корпустары мен су асты қайықтары үшін болатты қалыптастырудың бастапқы мақсатынан кейін ядролық қондырғылардағы кемелер үшін болатқа қолданылды. Пеллини сынағын анықтайтын стандарт білікшелерді салу әдісіне қатысты өзгеріске ұшырады [AST 95].



Сурет 7.4. Пеллини үлгісінің өлшемдері; [LEI 71]-ден



Сурет 7.5. NDT [LEI 71] -20 және -30°C арасында болады; [LEI 71]-ден

Шарпи сынағына келсек, соққы кезінде жүктемені өзгертуді бекіту мақсатында зерттеулер жүргізілді [SAN 69], бұл әр түрлі бұзылу фазаларын дәл талдауға мүмкіндік береді [FRO 82, WIE 99].

1970-ші жылдардың басында IRSID, болат типтерінің кең спектрін ескере отырып, әр түрлі сынақтар барысында алынған, нәтижелерді жүйелі салыстыруды жүргізді. Сынақтарды таңдау кезінде болаттың жіктелуі аз өзгертетін көрсететін корреляция орнатылған [SAN 70, SAN 74]. Осылайша, Пеллини сынағының көмегімен алынған NDT температурасы және 67 деректерге сүйене отырып 35 Дж/см² (TK 35) энергиясын беретін температура арасында мынадай өрнек алынды:

$$(NDT) = -16 + 0,51(TK35)$$

корреляция коэффициенті өте төмен болса да (0,80).

7.2.2 Серпімді сызықты өрісте бұзылу критерийін анықтау

АҚШ-та 60-жылдардың басында бұзылу механикасы тұжырымдамасының дамуы бұзылу тәуекелдерін бағалау кезінде ақаулардың мөлшерін ескеруге мүмкіндік берді. Ол мынадай формула бойынша K_I кернеулерінің қарқындылық коэффициенті ұғымын енгізу арқылы қол жеткізілді:

$$K_I = \alpha \sigma \sqrt{\pi a}$$

мұнда D - бөлшектер мен жарықтар геометриясына байланысты коэффициент, σ – номиналды кернеу и a – жарық өлшемі.

K_I сыни мәніне K_{IC} жеткенде ажырау орын алады.

1970 жылдың қыркүйегінде ашылған La-Colle-sur-Loir жазғы мектебі бұзылу процесіне арналды және француз өнеркәсібінің әр түрлі секторларының осы жаңа механиканың саласына деген қызығушылығын атап өтті. Д. Франсуа [FRA 72] жинаған конференция мәтіндері осы саладағы анықтамалық материал ретінде әлі күнге дейін пайдаланылады.

K_{IC} [AST 97] кернеу қарқындылығының шектік коэффициентін анықтау жоғары серпімділік шегі бар болатты қолдану арқылы өнеркәсіптің әртүрлі салаларында қолданылды. Францияда темір мен болаттан жасалған тауарлар үшін NFA 03-180 [NF 81] стандарты сынауға арналған үлгілерді, олар іріктелетін шарттарды, сынақтарды және нәтижелерді талдауды жүргізу шарттарын анықтайды. Жарамды K_{IC} мәнін алу үшін әр түрлі шарттар орындалуы керек. Атап айтқанда, иілімді аймақтың көлемі туралы әңгіме болғанда, ол сыналатын үлгінің өлшемдерімен салыстырғанда шағын болуы тиіс. Нәтижесінде, иілімді материалдар жағдайында ірі габаритты үлгілерді пайдалану талап етіледі. Шынында да, B қалыңдығы келесі болуы керек:

Нәтижесінде, иілімді материалда жағдайында ірі габаритты үлгілерді пайдалану талап етіледі. Шынында да, B қалыңдығы келесі болуы керек:

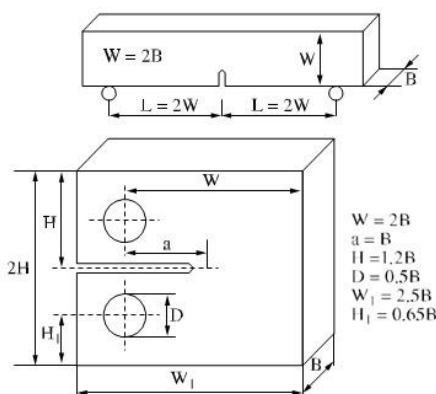
$$B \geq 2,5 \left(\frac{K_{IC}}{R_{p0.2}} \right)^2$$

$R_{p0.2}$ - материал ағымдылығының шегі.

Шын мәнінде, бұл стандарт тек біртекті болатқа қолданылады. Дегенмен, белгілі бір құжаттар болмаған жағдайда, ол басқа материалдарға, сондай-ақ дәнекерлеу қосылыстарына қолданылады.

Сынауға арналған ең жиі қолданылатын стандартты үлгілердің арасында бүгілуге сынауға арналған үлгіні және ықшам созуға арналған үлгіні атап өту керек (ағылш. СТ - compact tensile), олар 7.6 Сур. көрсетілген. Механикалық ойық соңында мүмкіндігінше аз радиусты алу үшін шаршау жарығымен ұзарады. Жарықтың үлгінің екі жағында бірдей ұзындықта болуы және бірдей ішкі конфигурациясы болуы маңызды.

Жарықтың үлгінің екі жағында бірдей ұзындықта болуы және бірдей ішкі конфигурациясы болуы маңызды.

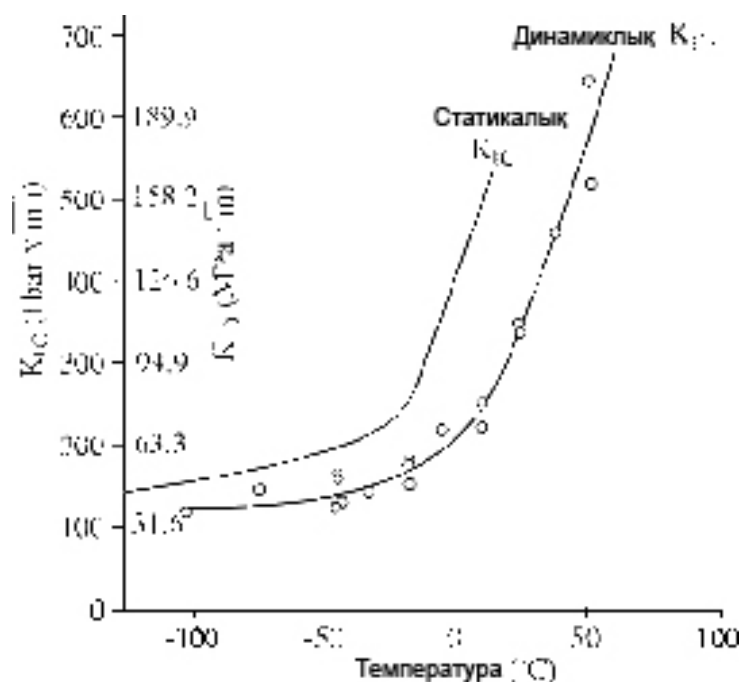


Сурет 7.6. Үш нүктелі бүгілу сынағы және СТ үлгілері; [SAN 78]-ден

K_{IC} кернеу қарқындылығының шектік коэффициенті жарығының шетіндегі пластикалық аймақ конструкция өлшемімен салыстырғанда аз болғанда қолданылады, және, осылайша, негізінен төмен иілімі бар материалдарға немесе едәуір қалыңдықтағы иілімді материалдарға қолданылады.

Соққы бүгілу энергиясы сияқты, орталықтанған текше құрылымы бар материалдардың қаттылығы температураға байланысты өзгереді. Ол температураның төмендеуімен азаяды; демек, бұл ақаулық жүктеменің төменгі деңгейінде пайда болуы мүмкін.

Жұмыс жылдамдығы беріктікке әсер ететінін көптеген жұмыстар көрсетті. Қисық $K_{IC} = f$ (температура) жүктеме жылдамдығы ұлғайған кезде, 7.7 суретте көрсетілгендей (Санц пен Марандеттің зерттеуінен алынған), оңға жылжиды. 16 MnNiMo5 [SAN 78] жоғары қысымды ыдыс болатына қатысты.



Сурет 7.7. Соққы тұтқырлығына жылдамдық пен жүктеме температурасының әсері [SAN 78]-ден

Қаттылық пен соққы тұтқырлығы сынақтары арасындағы эквиваленттілікті табу

Бұзылу механикасының тұжырымдамасын пайдаланумен қаттылықты анықтауға алғашқы сынақтардан бастап, атап айтқанда, K_{IC} мәндері мен соғуға әлдеқайда қымбат тұратын сынақтар көмегімен алынған мәндердің арасында корреляция табылды. Көптеген өрнектер [COL 97, MEE 88, SAN 78] ұсынылған және талданды.

Мысалы, иілімділік саласында біз, 1720 МПа ағымдылық шегіне дейін, болаттың кең диапазонында IRSID тексерілген Рольфе мен Новак өрнектерін дәйексөз бере аламыз. Ол келесі нысанды қабылдайды:

$$\left(\frac{K_{IC}}{R_e} \right)^2 = 6.4 \left[100 \left(\frac{KV}{R_e} \right) - 1 \right]$$

мұнда $\left(\frac{K_{IC}}{R_e} \right)^2$ көрсеткіш мм-де, KV Дж-да және R_e Н/мм²-де.

Сондай-ақ, K_{IC} және өтпелі аймақтың төменгі үстіртінде соққы тұтқырлығы арасында корреляция бар.

IRSID екі қосымша корреляция түрін орнатты:

- K_{IC} сынақтары мен соққы тұтқырлығымен анықталған өту температурасы арасындағы,

- K_{IC} және KV мәндері арасында.

Келесі температураларды өту температурасы ретінде қарастыра отырып:

– TKIC= температура, оған $K_{IC}=100$ МПа·м^{1/2} болатын,

– TK28= температура, оған KV=28 Дж (KCV=35 Дж/см²) болатын,

келесі корреляция TK28 температурасында кристалдылығы әрқашан 80-85% асатын болаттар үшін орнатылуы мүмкін:

$$TK_{IC} = 1,40TK28 \text{ в}^\circ\text{C}$$

K_{IC} және KV арасындағы қатынасы, 80 Дж-дан төмен KV мәні үшін алынған, болат үшін келесідей көрінеді:

$$K_{IC} = 19 \frac{1}{(KV)^{\frac{1}{2}}}$$

мұнда K_{IC} МПа.м^{1/2}-да KV Дж-да көрсетілген

Температураға байланысты соққы тұтқырлығы қисығынан температураға байланысты K_{IC} қисығын құруға болады.

7.2.3 Серпімді пластикалық саласындағы бұзылу критерийлері

Иілімді материалдарда ақаулардың болуына байланысты бұзылу тәуекелдерін бағалау үшін басқа критерийлер енгізілді. Ең жиі пайдаланылғандар арасында: J_{IC} , COD , $CTOD$, олардың [FRA 96]-да келтірілген.

ASTM металл материалдары үшін стандарттар орнатты, олар үлгілердің өлшемін анықтау және алу шарттарын анықтау, шаршау кезінде алдын ала жарылу шарттарын анықтау, сынақ жүргізу және нәтижелерді талдау үшін AFNOR пайдаланылды. Пайдаланылатын үлгілер K_{IC} кернеу қарқындылығының шектік коэффициентін анықтау үшін пайдаланылатындармен салыстыруға болады.

J-Райс интегралы

J -интегралы, әлі де *Райс интегралы* деп аталатын интеграл жарық нүктесінде едәуір пластикалық деформацияны білдіретін материалдарға серпімді сызықты бұзылу механикасы ұғымын таратуға мүмкіндік беретін контурлы интеграл болып табылады. Бұл бұзылу өлшемі тұтқыр бұзылу қаупін бағалау үшін ядролық салада кеңінен қолданылады. Сынау шарттары [AST 96, NF 87]-де сипатталған.

Үлгілерде алдын-ала жарылуды жеңілдететін бүйірлік ойықтар бар, және жарықтардың пайда болуын жеңілдету үшін Шеврон ойығы болуы мүмкін. СТ үлгілері жағдайында кесу тесігі жүктеу сызығының бойымен тікелей өлшенеді. Ашылудың тұрақты жылдамдығымен орындалатын жүктеу кезінде ашуға сәйкес күш белгіленеді. $F-d$ қисық астындағы алаң, сынақты үзуге сәйкес келетін ығысуға дейін, энергияға сәйкес келеді (7.8 суретті қараңыз) және J есептеу үшін қолданылады. Сынудан бұрын ыстық тотығу әсерінен, сынар алдында, сынаудың соңында сынауға арналған үлгі көк болады. Жарық топографиясын зерттеу Δa тұрақты таралу амплитудасын бағалауға мүмкіндік береді. $J-\Delta a$ нүктелері есептеу жүйесіне көшіріледі (7.9 суретті қараңыз). Рұқсат ету шарттарын тексергеннен кейін dJ/da желісі сызықтық регрессиямен анықталады, ал J_0 және J_{02} мәндері иілімді бұзылудың басталуына сәйкес келеді.

Жартылай түсіру әдісі теориялық түрде тек бір үлгіні анықтауға мүмкіндік береді, J_{IC} сыни ығысу, ол тұрақты жарылудың басталуына сәйкес келеді.

J_{IC} және K_{IC} арасында нысанда байланыс бар:

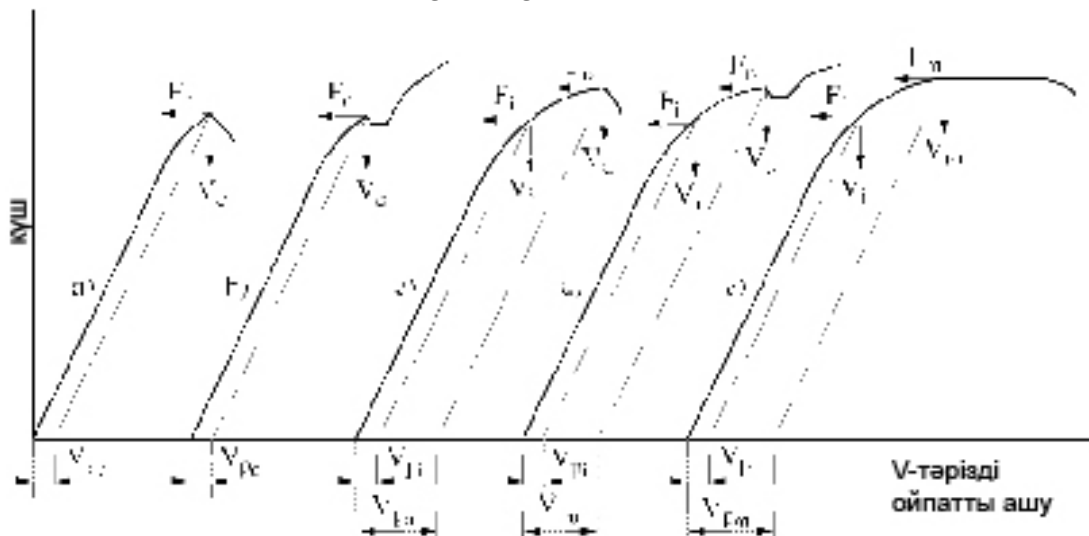
$$J_{IC} = \frac{(1-\nu^2)K_{IC}^2}{E}$$

мұнда ν – Пуассон коэффициенті, ал E – материалдың серпімділік модулі.

J_{IC} Дж/м² -да және K_{IC} МПа.м^{1/2}-да көрсетілген

"Күш-ашу" қисығы сынамалық үлгі жойылғанға дейін немесе сәтсіз болған жағдайда жүктеме қисығының шегінен шығып кеткенге дейін құрылады. Қисық BS 7448 стандартына сәйкес қолданылады, 1 бөлім [AST 93, NF 87].

Материалдың құрылымына байланысты қисықтардың әртүрлі түрлері алынуы мүмкін (сур.7.10). V толық тесіктің V_p пластикалық құрамдас бөлігі жүктеме қисығының сызықтық бөлігіне параллель түзу сызық жүргізу арқылы алынады. Бұл V_p компоненті қарастырылып отырған сипаттамалық нүктеге сәйкес V_C, V_I, V_U немесе V_m ретінде белгіленеді.



Сурет 7.10 Жарықты ашуға сәйкес қолданылатын күш өзгерістерін бекітудің әртүрлі түрлері; [NF87]-ден

А және б қисықтары үшін қолданылатын күш оның тұрақты таралуының алдында болмайтын жарықтың кенеттен тұрақсыз даму процесі басталғанша кесіктің аузын ашумен тұрақты ұлғаяды. G_C мәні координаттар нүктесінен (F_C, V_C) бастап беріледі.

Басқа үш жағдайда, тұрақсыз таратылу немесе пластикалық тұрақсыздық ең жоғары күші белгілі бір тұрақты таратылу алдында, G_U немесе G_m CTOD сыни мәндерін нүктелерден (F_U, V_U) немесе (V_m, F_m) бастап алады.

Мүмкін болатын қатыгез ұзілудің алдындағы жарықтың тұрақты таралуының болуы сыну геометриясын зерттеу жолымен тәжірибе негізінде анықталуы мүмкін.

Барлық жағдайларда сыни мәндер мынадай формула бойынша есептеледі:

$$\delta = \frac{K^2(1 - \nu^2)}{2E R_{p0.2}} + \frac{0.4(W - a_0)}{(0.4W + 0.6a_0 + z)} V_p$$

с:

$$K = \frac{F}{BW^{\frac{1}{2}}} \gamma$$

γ a/W , a_0 функциясы болып табылады – бастапқы ақаудың пайдалы жалпы ұзындығы және z - СТ үлгісі жағдайында пышақтың жүздері мен жүктеме осі арасындағы қашықтық. E , $R_{p0.2}$ және ν - тиісінше серпімділік модулі, ағымдылық шегі және материалдың Пуассон коэффициенті болып табылады.

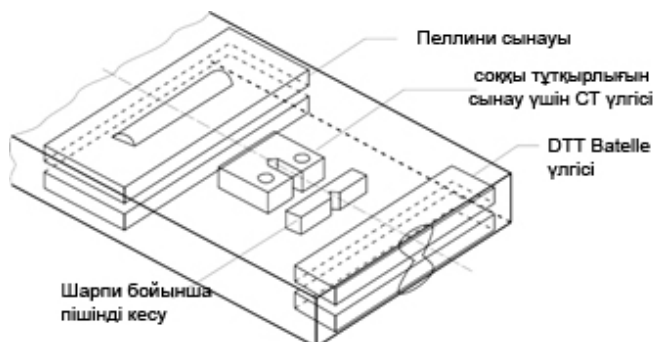
7.3 Дәнекерлеу қосылыстарының бұзылу тәуекелін бағалау

Дәнекерленген қосылыстарды сипаттау үшін пайдаланылатын бағалау әдістері, дәнекерленген тігістің біркелкі еместігінен үлгіні іріктеумен байланысты қосымша күрделілікті қоспағанда, негізгі материалдарды сипаттау үшін қолданылатын әдістермен салыстырылады.

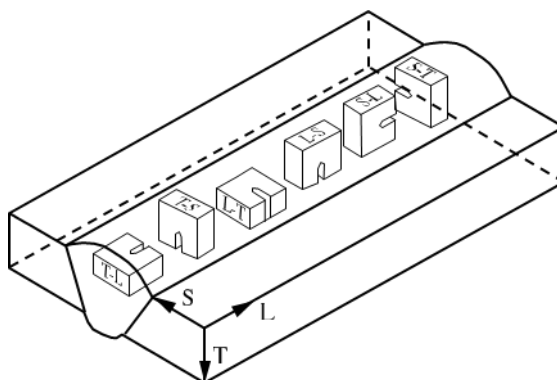
7.3.1 Дәнекерленген тігістің біртектілігі

Толтырғышпен немесе онсыз дәнекерлеумен бір немесе екі материалдарды жинау (мысалы, электронды-сәулелік немесе лазерлік дәнекерлеу) көптеген біртектес еместі тудыратын күрделі металлургиялық операция болып табылады:

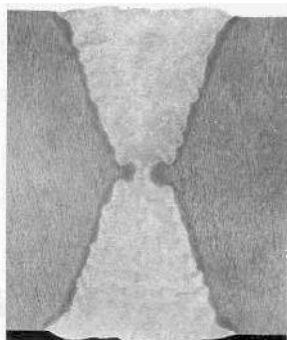
- *химиялық*, толтырғыш құрамы бойынша жинақтауға жататын материалдардан жиі ерекшеленеді. Байланыстыру аймақтарында сұйылту әсерлері қосымша фактор болып табылады;



Сурет 7.11 Дәнекерленген қосылыста сынама алу; [ANS 92]-ден



Сурет 7.12 Дәнекерленген жікке қатысты кесіктердің әртүрлі ықтимал бағдарлары; [ANS 92]-ден



Сурет 7.13 X-бейнелібілікше

- *металлургиялық*, өту санына байланысты қыздыру және салқындату фазаларының санымен байланысты;

- *механикалық*, білікше сипаттамасы негізгі материалдардың сипаттамасынан ерекшеленеді. Бұл түрі гетерогенді англасакстық сәйкессіздік деп аталады. Ол балқуаймағының ағымдылық шегімен негізгі материалдың ағымдылық шегі арасындағы Мара

қатынасымен сипатталады:

$$M = \frac{\sigma_{YZ}}{\sigma_{YB}}$$

мұнда σ_{YZ} - ағымдылық шегі HAZ и σ_{YB} - негізгі материалдың ағымдылық шегі.

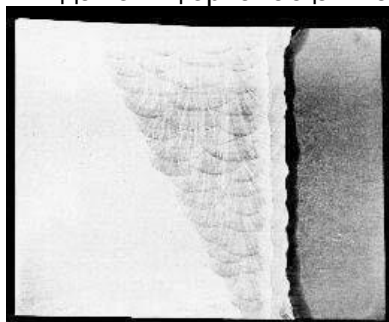
Егер $M > 1$, қолданылатын термин *таңдаулы* және, қарама-қарсы жағдайда, *сәйкес емес* болады:

- геометриялық; қосылыстар мен білікшелердің формаларын дайындауды есепке ала отырып (кернеудің шоғырлануы);
- мүмкін болатын ақауларды ескере отырып; тиімді көлденең қиманы азайтатын жазық немесе көлемді, ішкі немесе пайда болатын беттер.

Бұл әртүрлілікке қалдық кернеуді қосуға болады, олар өте әр түрлі температураға, металлургиялық түрленуге және қысылу салдарынан әр түрлі мәндегі шектеулерге дейін жеткізілген аймақтарды салу салдары болып табылады.

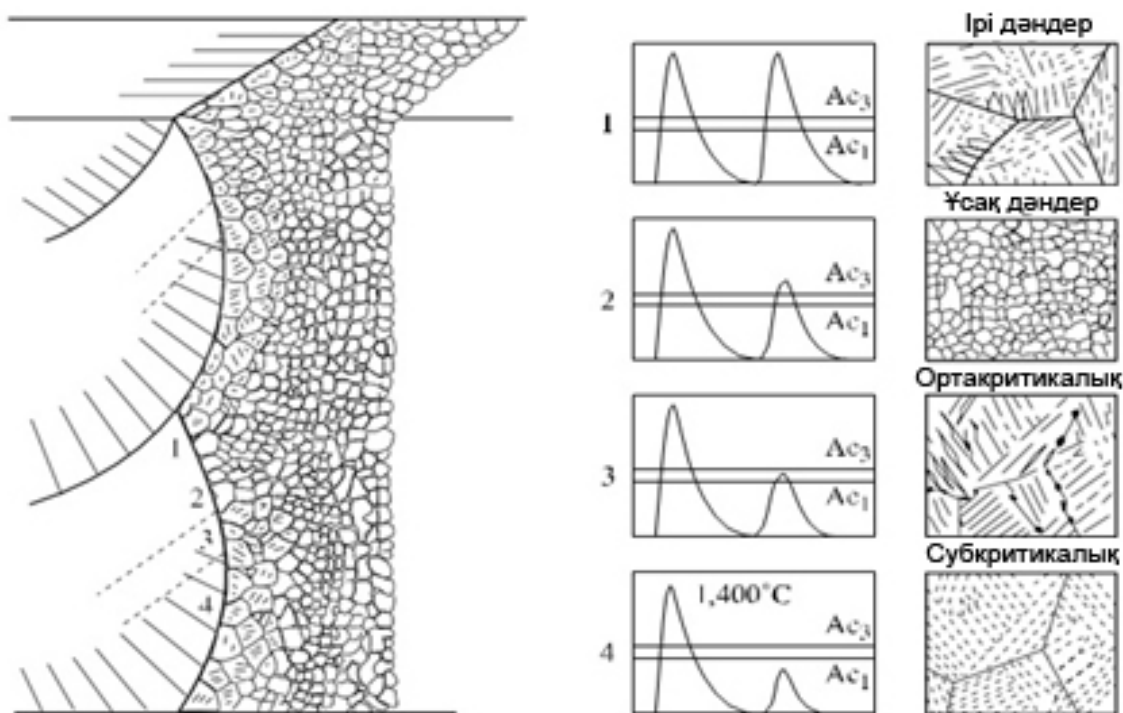
7.3.2 Үлгі алу шарттары

Дәнекерлеу қосылыстарына алдыңғы сынақтардың орнын ауыстыру сипатталуы қажет аймақтарды ескеруі тиіс: балқыту аймағы немесе HAZ. Сур. 7.11 балқу аймағының бұзылуына сезімталдығын бағалау үшін үлгілерді жоюдың ең жиі қолданылатын шарттарын көрсетеді. Әдетте, кесік кордтың ортасында әр түрлі мүмкін бағдарлармен орналасқан (7.12 суретті қараңыз). Дәнекерленген тігістің геометриясын ескере отырып, HAZ-ға соққы тұтқырлығын анықтау әлдеқайда қиын. Борт осіне параллель өңделген жарық HAZ едәуір пропорцияларын қамтиды, қалған бөлігі негізгі металдан тұрады (7.13 суретті қараңыз). Бұл кемшілікті жеңілдету үшін, кем дегенде, зертханалар үшін К үлгілерді немесе К-тәрізді форманың жартысын алуға болады (7.14 суретті қараңыз), бұл HAZ-да толық орналасқан жарықты алуға мүмкіндік береді.



Сурет 7.14. К-тәрізді форманың жартысының білікшесі

Алайда, бұл әдіске қарамастан, HAZ біртекті емес, мысалы, Тойода [TOY 91] жұмысынан көрінетін. Ол әртүрлі жылу циклдары кезінде (7.15 суретті қараңыз) пайда болатын морттық микроқұрылымдардан тұрады, ол кейінірек бақыланады (7.4.4 бөлімді қараңыз).



Сурет 7.15 Жылу циклдарына сәйкес HAZ табылған микроқұрылымдардың әртүрлі түрлері; [ТОУ 89]-ден

Кейбір жағдайларда сынақ ені 200 мм немесе одан көп дәнекерленген парақта жүргізіледі, бұл ретте тозған жарық білікшеде немесе HAZ-да [KOC 00] дамиды. Мұндай сынаққа арналған үлгілер, атап айтқанда, Brite-Euram AS "POW арқалығынан дәнекерленген тігістердің сапасын бағалау" (ағылш. ASPOW - ASsessment of quality off Power beam Welded joints) жоба шеңберінде пайдаланылады.

Бұл жоба жоғары қуатты процестер (электрондық және лазерлік сәуле) арқылы дәнекерленген қосылыстардың сипаттамасы бойынша ұсыныстарды әзірлеуге бағытталған, олар қасиеттерінің маңызды градиенттері бар тар білікше болып табылады: конструкциялық болат үшін шамадан тыс сәйкестік және алюминий қорытпалары үшін жеткіліксіз сәйкестік.

7.3.3 Тұтқыр күйден морттық күйге өту температурасын анықтау

Соққы бүгілуіне сынау кезінде энергияны анықтауға келетін болсақ, NF IN 10045-1 [NF 90] стандарты сынама алу өлшемдері мен шарттарын анықтайды (FZ немесе HAZ салыстырғанда кесу жағдайы). Жалпы, негізгі материалдың сипаттамасына қатысты, соққы бүгілуіне сынауға арналған үлгі V-тәрізді кесумен 45° 2 мм тереңдікте параллелепипедті (55×10×10 мм³) білдіреді.

Стандарт кішірейтілген қалыңдықты (7,5 мм немесе 5 мм) сынау үлгілерін пайдалану мүмкіндігін көздейді.

Кобе мен Солтүстік көпірдегі жер сілкінісі кезінде пайда болған жұмыстан істен шыққан соң, соққыдан бүгілген сынақтың нәтижелері бұзылу энергиясы негізінен металда және балку аймағында бөлме температурасында 10 Дж-ға жуық екенін көрсетті, бұл өте төмен көрсеткіш болып табылады [ТОУ 00]. Зерттелген Liberty корабльдерінің сирек пластиналарынан апат кезінде температура үшін 8-ден 9 Дж-ға дейінгі энергия табылды, ал алыс аймақтардағы энергия 21 Дж-ға жетті [SAN 74].

Әдетте, иілімдіден морттық күйге өту температурасы ең төменгі жұмыс температурасынан төмен болуы қажет. Х. Х. Кэмпбеллдің төрағалық етуімен IIW-дан X Комиссия мүшелерінен тұратын сарапшылар тобының жұмысынан кейін, сейсмикалық тәуекелдері бар аймақтарда тұрғызылған, механикаландырылған дәнекерлеу

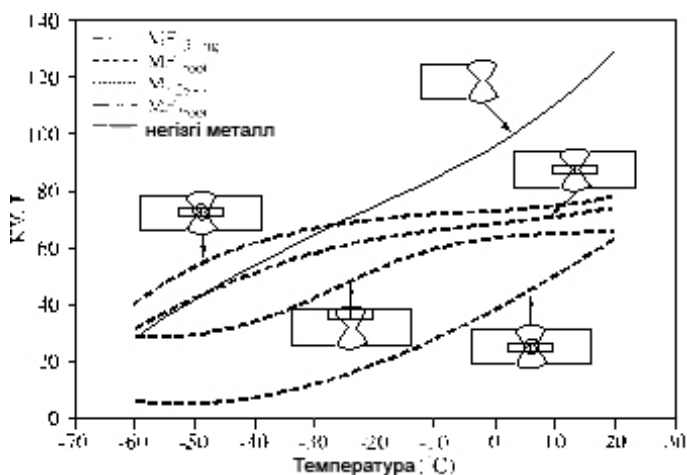
конструкциялары бойынша ұсыныстар жасалды [CAM 00]. Ең қарапайым рәсім, пайдаланудың ең төменгі температурасына сәйкес келетін температурада қол жеткізілуі тиіс, соққы бүгілу энергиясының мәнін тәуекелдің әр түрлі деңгейлеріне береді (7.1 кестені қараңыз).

Н. Губелякпен түрлі температураларында алынған соққы бүгілу сынақтарының кейбір нәтижелері көрсеткендей, үлгілерді іріктеу шарттарына және FZ немесе HAZ-ға қатысты кескіш түбі жағдайына сәйкес нәтижелер айтарлықтай өзгеше болуы мүмкін [GUB 99].

KV(J) Сынау температурасы = пайдаланудың ең төменгі температурасы	Морттық сыну қаупі
$KV > 100$	Сыну екіталай
$47 < KV < 100$	Коэффициенттерге дейінгі төмен тәуекел вращения
$27 < KV < 47$	Жоғары тәуекел
$10 < KV < 27$	Жоғарытәуекел. Қатты контрмер қажеттілігі
$KV < 10$	Өте жоғары тәуекел. Құрылымдық оқшаулау қажет

Сурет 7.1 Соққы тұтқырлығы деңгейінің функциясы ретінде тәуекелді бағалау;
[CAM 00]-ден

Өз зерттеулерінде Губеляк қалыңдығы 40 мм шыңдалған күйдегі HT80 типті негізгі металл үшін азқоспалы болаттың ағымдылық шегінің жоғары шегін қолданды. Беріктіктен асатын Х-тәрізді нысанда үш дәнекерленген қосылыстар бағаланды. Олардың біреуінде біртекті құрылым (MF1) болды. Басқа екі дәнекерленген тігіс түбінде аз төзімді толтырғыштармен орындалған. Соққы бүгілуіне сынау нәтижелері 7.16 суретте келтірілген.



Сурет 7.16 $KV = f(T)$ үлгілерді жою аймақтарына сәйкес; [GUB 99]-ден

7.3.4 Беріктікті бағалаудың түрлі әдістері

Бұзылу механикасының ұғымдары механикаландырылған дәнекерлеу конструкцияларына да қолданылады, бұл ақаудың болуына байланысты тәуекелдерді бағалауға және қолдануға жарамдылығын бағалауға мүмкіндік береді. Ол үшін жүктеу шарттарын, жарылу нүктесіндегі соққы тұтқырлығын, сондай-ақ ақаудың геометриясы мен өлшемдерін білу қажет.

Біртекті материалдар үшін қолданылатын және 7.2 Бөлімде сипатталған бұзылу критерийлерін анықтау әдістері көп жағдайда өзгеріссіз дәнекерлеу қосылыстарына ауыстырылды.

Алдын ала бұзумен байланысты мәселелер

Қандай әдіс қолданылмаса да, алдымен алдын ала тозу жарығын жасау керек. Дәнекерлеуден туындаған қалдық кернеулердің болуы жарықтың асимметриялық фронтын тудыруы мүмкін. Бұл кемшілікті жеңілдету үшін кейбір зерттеулерде HAZ және FZ микроқұрылымдарын өзгертетін кернеуді алу үшін өңдеу жүргізіледі. Даус, өз жағынан, қалдық кернеуді қайта бөлу үшін байламдарды қысу процедурасын қолданды, бұл жарықтың тура фронтын алуға мүмкіндік берді [DAW 76].

KIC кернеу қарқындылығының шектік коэффициенті

Бұдан бұрын көрсетілгендей, K_{IC} кернеу қарқындылығының шектік коэффициенті морттық материалдарға қолданылады. Дәнекерлеу тораптары жағдайында, әдетте, қақталатын болат қолданылады. Осылайша, бұл өлшем, материал нәзік күйде болған кезде, төмен температураларда ғана расталуы мүмкін.

Эластопластикалық аймақтағы жарық

Қалыпты пайдалану жағдайында материалдардың теорияда пластикалық құрылымы болуы тиіс. Осы жүктеме жағдайында ақаудың болуына байланысты үзілу тәуекелін бағалау үшін біз эластопластикалық сыну өлшемдерін (JIC , COD , $CTOD$) пайдаланамыз.

П. Хорнет, дәнекерлеу қосылысының ортасында орналасқан үлгінің қисығы немесе ақауы бар құрылымның J -күшінің қисығы негізгі металдың ұқсас үлгісінің қисығы мен жапсырма металдың ұқсас үлгісінің арасында жататынын атап өтті.

J -күш қисығының салыстырмалы жағдайы роликтің еніне байланысты. Егер ол кең болса, жарылу нүктесінде пластификация балқытудың шектеулі аймағы болып қалады және қисық жапсырма металдың біртекті үлгісінің қисығына ұқсас. Тар білікше жағдайында негізгі металдың мінез-құлқы басым болады [HOR 00].

Бір текті емес құрылымдардағы бұл иілгіштіктің кеңеюі, беріктікті анықтайтын, нәтижелерді талдау үшін салдары бар. Қазіргі уақытта күшті қолдану арқылы сызат нүктесінің ығысуы емес, мойын тесігін пайдалана отырып, терең жарықтары бар ($a/W=0,5$) сынақ үлгілерінде беріктікті өлшеуден тұратын әртүрлі шешімдер ұсынылады. Бұл негізінен металда шашырайтын энергияны есепке алмағанда, жарық аймағында қосылған энергия мөлшерін бағалауға мүмкіндік береді.

Сыну қатері ақауының күрделілік дәрежесін бағалауға бағытталған кез келген есептер оның мөлшерін айқындау мүмкіндігін білдіреді.

Ақауларды назарға ала отырып

Дәнекерленген қосылыстар жағдайында тіпті тегіс ақаулар күрделі геометрияға ие. Сондай-ақ көрші ақаулар арасындағы өзара іс-қимылды ескеру қажет. Бұл ақауларды эквивалентті екі өлшемді геометриялық ақауға (a , b) түрлендіру әдістері әзірленді. Осыған орай, тіпті a тиімді өлшемнің бір өлшемді параметріне көшуге болады. Мұндай қадам пайда болатын және ішкі ақаулар үшін ұсынылады [COL 97, NOV 96].

Ақаулардың түрлеріне бейімделген бұзбайтын зерттеудің бақылау әдістерін пайдалану негізгі болып табылады. Бұл сынақтардағы қажеттілік жобалау сатысында назарға алынуы тиіс, бұл құрылыс аяқталғаннан кейін көптеген мәселелерді болдырмауға мүмкіндік береді.

Ақаудың күрделілігін талдау

Ақау конструкция элементінде табылған кезде, үш шешімді қарастыруға болады:

- материалды пайдалануды жалғастыра отырып, оны сақтаңыз;
- жөндеу одан да күрделі ақаудың туындауына себеп болуы мүмкін екенін біле отырып, оны жөндеңіз;
- ақаулы бөлшекті ауыстырыңыз.

Біртекті конструкцияларға арналған қолда бар әдістерге негізделген және соңғы бірнеше жылда дәнекерленген қосылыстарға бейімделген шешімдер қабылдауға

көмектесетін ақаулардың күрделілігін талдаудың әртүрлі әдістері бар. Ең танымал арасында келесіні белгілейді:

- түрлендірілген R6 әдісі (екі өлшем әдісі),
- EТМ-ММ әдісі (*сәйкес келмейтін дәнекерленген жіктерді өңдеудің инженерлік моделі*),
- ЕМ әдісі (*эквивалентті материал әдісі*),
- Британдық стандарттың PD 6493 ұсынысы *"Балқыту әдісімен дәнекерленген конструкциялардағы ақаулардың қолайлылығын бағалау әдістері бойынша басшылық"*.

Бұл түрлі әдістер көпшілік үшін [BLA 97] ұсынылған.

Британдық стандарттың PD 6493 ұсынысы

PD 6493 ұсынысы оның соңғы нұсқасында (1991 жылғы маусым) қолданылады:

- алюминий қорытпаларынан, ферритті және аустенитті болаттардан жасалған дәнекерлеу тораптарына,

- Тегіс немесе көлемді ақауларға,

- әртүрлі бас тарту режимдеріне.

Бұл ұсынымды оның артықшылықтары мен шектеулерімен жалпылау, сондай-ақ сұйық каналдарға қолдану Р. Батисспен орындалды [BAT 00].

Бұл ұсыныс қысымдағы ыдыстарға, құбырларға, көпірлерге, құрылыстарға, сақтауға арналған резервуарларға, әскери-теңіз құрылысына және теңіз жұмыстарына және т. б. қолданылады.

Осы ұсынымға сәйкес үзілу қаупі тұрғысынан ақаудың қолайлылығын өңдеу FAD-ға (ағылш. *failure assessment diagram* - қирауды бағалау диаграммасы) және K_I (у осі) бүліну қаупіне және SR пластикалық коллапсіне (X осі) сәйкес келетін екі параметрді есептеуді талап етеді.

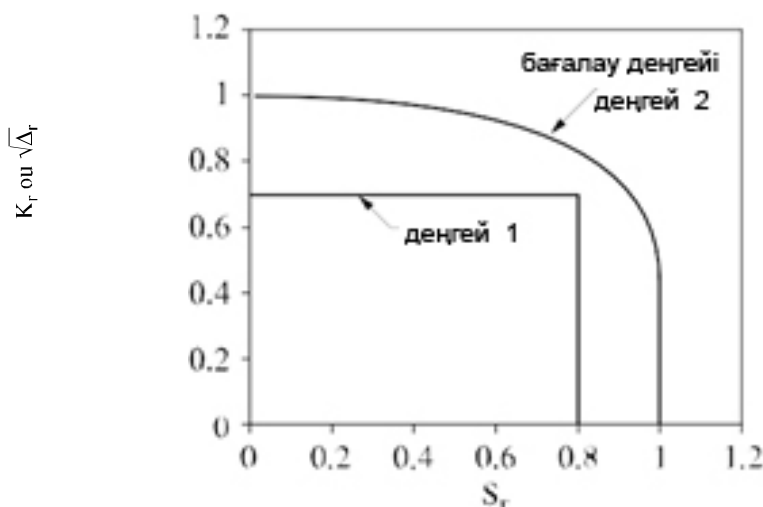
Зерттеудің түрлі деңгейлері ұсынылады. 7.17 сурет 1 және 2 деңгейлерін көрсетеді. 1 деңгейі ең шектеулі. Бұл минимум деректермен жылдам талдау жүргізуге мүмкіндік береді.

Ол кернеуді және ақаулардың мөлшерін арттыру және механикалық қасиеттерді төмендету кезінде назарға алынатын қауіпсіздік факторларын есепке алуды талап етпейді.

2 деңгей істен шыққанға дейін икемділік шегінің пайда болу мүмкіндігін береді және ақаулық деңгейіндегі кернеуді ескереді. Қауіпсіздік коэффициенттері кернеуге, ақау мөлшеріне және механикалық қасиеттерге қолданылады.

3 деңгейді (сур. 7.18) коллапстың алдында елеулі пластикалық деформация болған кезде қолдануға болады.

Нүкте FAD диаграммасында орналастырылуы мүмкін, оның жағдайы ақау түріне (оның жағдайы мен өлшеміне) және пайдалану шарттарына (жүктеме, температура және т.б.) байланысты. Оның жағдайына сәйкес, диаграмманың ішінде немесе сыртында, ақау немесе қолайлы, немесе жоқ.



Сурет 7.17 FAD. 1 және 2 деңгейлер; [KON94]-ден



Сурет 7.18 FAD.3 деңгей

Бұл ұсыныс өнеркәсіптің қажеттіліктерін қанағаттандыра алатын қарапайым болуы үшін әзірленген. Алайда кейбір жағдайларда ол белгілі бір жорамалдарға қатысты шектеулі дәлдікпен нәтижелерге әкеледі:

- серпімділік шегіне тең қалдық кернеулерді есепке алу,
- К-сызықтың бұзылу механикасына негізделген, жарықтар үшін нашар бейімделген, пластификациясы шектелмеген тәсіл,
- жақындатылған механикалық қасиеттерді пайдалану.

Еуропалық жоба SINTAP (ағылш. *Structures INTEGRITY Assessment Procedures* - конструкциялардың бүтіндігін бағалау процедуралары) PD 6493 ұсынысына мұндай нәтижелерді шектеу мақсатында, жеңілдетілген шешімдердің белгілі бір санын ұсына отырып, назар аударды.

7.4 Сыну тәуекелдерін бағалау кезіндегі әртекстіліктің салдарлар

Дәнекерлеу қосылыстарындағы бұзылу тәуекелін бағалау жаңа ғимараттар үшін де, пайдаланудағы адамдар үшін де таяудағы жылдары негізгі проблема болады. Техникалық қызмет көрсету жиілігі, оған құны жоғарылаған кезде сенетін және қондырғының қызмет ету мерзімін ұлғайту, - бұл дәнекерлеу конструкцияларын жақсы түсінуді талап ететін тұрақты мәселелер

Дәнекерленген қосылыстар табиғатта біркелкі емес және ықтималдықты аспектілерді ескеру қажет.

7.4.1 Сәйкес келмейтін әсерлер

1993 жылы жыл сайынғы IIW кеңесінде X комиссиясының құрамында X F Кіші комиссиясын құру туралы шешім қабылданды, онда сәйкессіздік әсерлерін ескеру арнайы тапсырылды. Мәселенің пәнаралық сипатын ескере отырып, бұл топқа бірнеше түрлі салаларда жұмыс істейтін мамандар тартылды. Жеті жыл ішінде 100-ге жуық құжаттар ұсынылды, олардың тізімі Президенттік есепте [KOC 00] бар және олар талқылау тақырыбына айналды. Талқыланған тақырыптардың арасында:

- энергия тығыздығы жоғары процестерде сәйкессіздіктерді есепке алу,
- үйкеліс дәнекерлеу кезінде туындайтын сәйкессіздіктер (араластырумен үйкеліс),
- сейсмикалық жүктеме кезіндегі сәйкессіздік салдары,
- жабынумен немесе жабумен байланысты сәйкессіздік.

Қазіргі уақытта кодтар сәйкессіздікті ескермейді. Олар дәнекерленген жұмыс арасында ең тиімсіз сипаттамалары бар біртекті материалды санайды. Әдетте, бұл консервативті нәтижелерге әкеледі.

Еуропалық қоғамдастықтың екі бағдарламасы сәйкессіздік салдарын ескереді. Қазір жоқ SINTAP бағдарламасына қосымша ASPOW бағдарламасы (ағылш. *ASsessment of quality of POver beam Welded joints* - Арқалықтардың дәнекерленген тігістерінің сапасын бағалау) жоғары тығыздығы бар арқалықтармен дәнекерленген қосылыстарды сипаттайды. Бұл қолдану, атап айтқанда, Airbus 380 бағдарламасы аясында аэравтикада алюминий қорытпаларын лазерлік дәнекерлеуді қолдануға қатысты.

Балқу аймағында орналасқан ақауы бар дәнекерленген үлгілерде жүргізілген зертханалық сынақтар:

- сәйкессіздіктер,
- сыналатын үлгінің өлшемдерімен салыстырғанда HAZ өлшемдері,
- жүктеме схемасы (созылу немесе бүгілу),
- білікшемен салыстырғанда жарықтың соңғы нүктесінің жағдайы,
- байламдағы иілімділіктің эволюциясы.

Францияда ядролық салада туындайтын мәселелерді шешу үшін көптеген зерттеулер қабылданды. Хорнет [HOR 00] FZ өте кең және бұл жағдайда икемділік шектеулі болған жағдайларды қоспағанда, иілімдік негізінен ең жұмсақ металда дамитынын көрсетті (7.19 суретті қараңыз).

Екінші жағынан, тар білікшелердің біртекті емес құрылымының жалпы сипаттамасы жарықтың ұзындығына қарамастан, FZ болуынан аз байланысты. Жарыққа жақын сипаттама, бүкіл конструкцияның сипаттамасы сияқты, негізгі металмен бақыланады. Балқытылған аймақта жарылу нүктесінде пайда болатын пластикалық деформация ілінісу аймағымен қосылады және содан кейін негізгі металда пайда болады (7.19 суретті қараңыз).

Иілімді аймағы саңырауқұлақ түрінде, жоғары тығыздыққа тән, жарықтың тиелуін анықтайтын негізгі металға таралады.

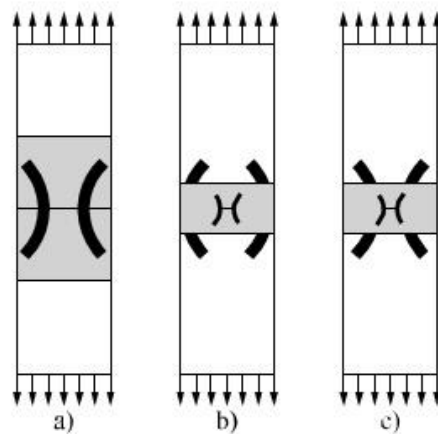
Хорнет сондай-ақ, егер $h/(W-a)$ қатынасы жоғары, механикалық беріктігі балқытылған металмен бақыланса, онда, егер ол 0-ге жақын болса, ол негізгі материалмен бақыланатынын көрсетеді.

Жүктеу шарттары (созылу немесе бүгілу) сондай-ақ иілгіштің дамуына және пластифицирленген аймақтың қосылған металдан шығу мүмкіндігіне әсер етеді. Хорнетке сәйкес, созылатын жүктемеге қарағанда артығырақ, бүгілу жүктемесі балқытылған металда иілгіштікті ұстап тұруға ықпал етеді (7.20 суретті қараңыз).

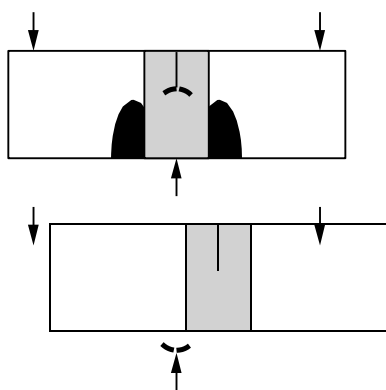
Осыған ұқсас нәтижелер ағу дәрежесі маңызды болатын беріктіктің түрлі деңгейлері бар болаттарда лазерлік немесе электрондық сәуле көмегімен орындалған дәнекерленген қосылыстардың сипаттамасына арналған ASPOW жобасы бөлігінде алынды.

Осыған ұқсас нәтижелер, ағу дәрежесі маңызды болатын, беріктіктің түрлі деңгейлері бар болаттарда лазерлік немесе электрондық сәуле көмегімен орындалған дәнекерленген қосылыстардың сипаттамасына арналған ASPOW жобасы бөлігінде алынды. Білікшеде басталған жарық бағытын тез өзгертеді және иілгіш негізгі металда дамиды, және бұл құбылыс кең пластиналар немесе бұзуға сынау үшін дәстүрлі үлгілерді қамтитын сынақ үлгілері үшін де, СТ типті үлгілер үшін де немесе жұқа бүгілумен бұл құбылыс жақсы келеді.

Егер сынауға арналған В үлгілерінің қалыңдығы ұлғайған болса, жарық балқытылған аймақта қалады, бұл CTOD [KOC 99] төмендеуіне әкеледі. Жарық неғұрлым иілімді аймақ бағытында қозғалады деген факті энергия тығыздығы жоғары процестер жағдайында үміт артады.



Сурет 7.19 HAZ еніне қатысты пластифицирленген аймақты кеңейту; [HOR 00]-ден

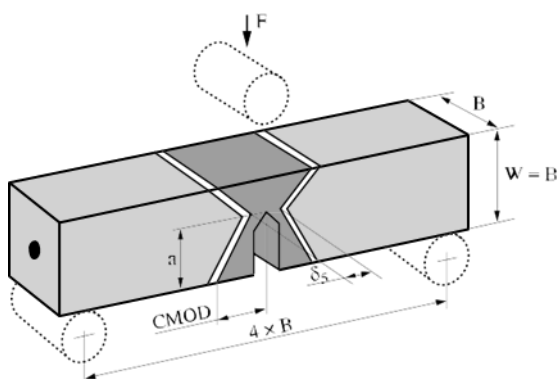


Сурет 7.20 Иілу жүктемесі кезінде илемделгіш аймақты ұстап қалу; [HOR00]-ден

CTOD-ға сәйкессіздіктің салдары әртүрлі материалдар үшін зерттелді: жеткіліксіз сәйкестігі бар алюминий қорытпалары, аустениттік тот баспайтын болат, Inconel 625 никельді қорытпалары және титан қорытпалары.

Соңғысына қатысты біз М. Кочактың жұмысын келтіреміз, ол титанды және TA6V титан қорытпасын диффузиялық дәнекерлеу кезінде немесе 0,36 (TA6V/Ti/TA6V) тең төмендеу, немесе ені ауыспалымен және тамаша тікелей байланыстырушы аймақтармен 2,5 (Ti/TA6V/Ti) тең жоғарылау шығарды. Бірінші жағдайда жарық иілгіш аймақта қалады, ал пластифицирленген аймақ шектеулі болып қалады; екінші жағдайда жарық неғұрлым иілгіш материал жағына қарай ауытқиды немесе бөлім шекарасының деңгейіне таралады.

Н. Губеляк X-тәрізді жинау жағдайында жарық шыңының тұтқырлыққа әсері CTOD түрінде білдірілетіндігін зерттеді (7.21 суретті қараңыз). a/W қатынасы ұлғайған кезде балқытылған аймақтың ені азаяды және тамыр деңгейінде минимумға жетеді. Тарылу жарық шыңында пластифицирленген аймақтың түзілуіне және дисперсияны білдіретін нәтижелерге әсер етеді. Бұл әлсіздікті азайту үшін түзету формулалары ұсынылады [GUB 99].



Сурет 7.21. Балқыма аймағы геометриясының және тозған жарықтың түбі орналасуының CTOD анықтауына әсері; [GUB99]-ден

7.4.2 Негізгі материалдың әсері

Дайындау шарттары

Механикаландырылған дәнекерлеу құрылымдарын өткізу үшін пайдаланылатын негізгі материалда пайдалану кезіндегі ең төменгі температурадан төмен иілімді-морттық өту температурасы болуы тиіс. 1970-ші жылдардың басында NF A 36-201 француз стандарты пайдалану шарттарына сәйкес жоғары немесе төмен температураларда соққы тұтқырлығының ең аз мәндерін кепілдендіретін қоспаланған табақты болаттар немесе төмен қоспаланған дәнекерленетін болаттар (E 355, E 375, E 420 және E 460) үшін сапаның үш деңгейін (R, C және FP) анықтады.

Пайдаланушыларды жеңіл дәнекерленетін болатпен қамтамасыз ету үшін, бірақ ол күшті және қатты болуы үшін, болатты өндірушілер көміртектің пайыздық мөлшерін төмендетті (эквивалентті көміртегінің Seq төмендеуі), бұл ТК 28 төмендеуіне әкеледі (7.22 суретті қараңыз).

Одан кейінгі әзірлемелер қоспалардың (күкірт, фосфор) немесе микроэлементтердің (күшән, сүрме, қалайы) мөлшерін азайту есебінен өнімнің сапасын жақсартуға мүмкіндік берді, бұл Cr-Mo әсер ету аймағында олардың кері топтастыру құбылысына сезімтал болу үшін өту температурасын төмендетуге мүмкіндік берді.

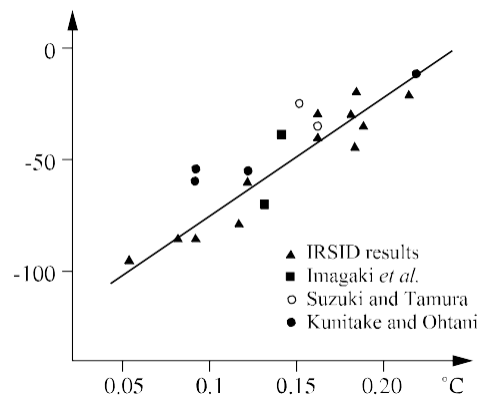
Дегидрлеу сияқты вакуумдық процестер сутегінің құрамын 2 ч/млн-нан кем төмендетуге мүмкіндік берді, атап айтқанда ауыр плиталарға арналған болат. Сонымен қатар, құю кезінде балқытылған болат пен қоршаған ауаны болдырмауға мүмкіндік беретін әдістерді қолдана отырып, азоттың аз мөлшерін алуға болады.

Күкірттің құрамы бірдей болғанда сульфидтердің морфологиясы қалыңдығы бойынша соққы тұтқырлығында үлкен рөл атқарады. Церий немесе кальций қосу глобулизденген сульфидтердің пайда болуы есебінен соққы тұтқырлығын айтарлықтай жақсартады (7.23 суретті қараңыз).

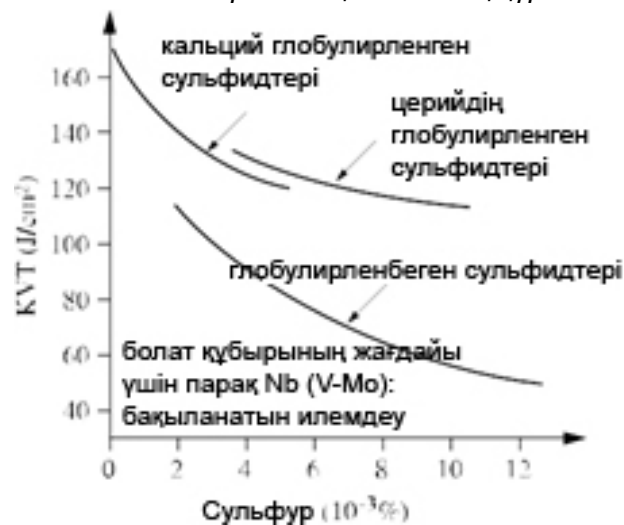
Термомеханикалық өңдеу

Термомеханикалық илектену келесі тез суытумен ағымдылық шегі жоғары болатты өңдеуге әкелді (ағылш. HYS - high yield strength).

Көміртектің пайыздық құрамының төмендеуі астық мөлшерінің азаюымен және феррит фазасының қатаюына мүмкіндік беретін дисперсoid элементтердің шөгуімен өтелді [DEF 94]. Бұл өту температурасының төмендеуі кезінде беріктік пен ағымдылықтың артуына әкеледі.



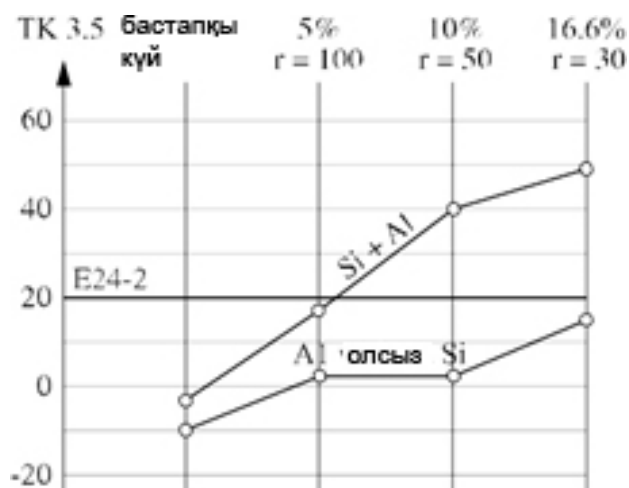
Сурет 7.22. Оңтайлы ТК HAZ-ға көміртегінің пайыздық құрамының әсері; [DEV88]-ден



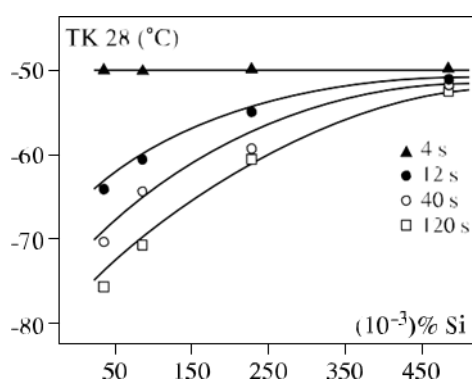
Сурет 7.23. Қалыңдығы бойынша соққы тұтқырлығы. Күкірт құрамының және сульфид морфологиясының әсері; [DEV 88]-ден

Бурга және т.б. мақалада [BOU 97] сол белгіге сәйкес жеткізілетін болат үшін өндіріс жағдайлары пайдалану жағдайында маңызды рөл атқаратыны көрсетілген. Осылайша, кремнийсіз қышқылдану алюминий пайдалы әсер етті, ол бүгілу кезінде беріктенгеннен кейін қартаю сезгіштігін шектеуге мүмкіндік берді (7.24 суретті қараңыз).

0,080% C, 1,5% Mn және 0,5% Ni бар болаттарда кремний құрамының әсері HAZ-да ТК28 температурасына да әсер етеді, бұл дәнекерлеу кезінде салқындату жылдамдығы баяу, бұл энергияның жоғары тығыздығы бар процестерде орын алады (7.25 суретті қараңыз). Кремний құрамының төмендеуі HAZ-да қалдық аустенит үлесін азайтуға мүмкіндік береді, бұл осы аймақта беріктікті жақсартады.



Сурет 7.24. Болаттың деформациясы мен қышқылсыздануына байланысты ТК35 деңгейінің эволюциясы; [BOU 97]-ден



Сурет 7.25 Кремний құрамының және HAZ-ға салқындату жылдамдығының соққы тұтқырлығына әсері; [BOU 97]-ден

7.4.3 Қоспа металдардың әсері

Толтырғыш материалдар тұрғысынан қол жеткізілген прогресті бағалау Бурге және т.б. ұсынылды [BOU 98]. Мұнда негізгі және рутилді сымдар арасында салыстыру жүргізіледі. Негізгі сымдар өзінің химиялық құрамының арқасында үлкен әлеуетке ие және жоғары пластикалық соққы тұтқырлығы деңгейін алуға мүмкіндік береді, сондай-ақ төмен температурада жақсы соққы тұтқырлығы бар. Алайда, негізгі сымдард рутилге қарағанда төмен пайдалану сипаттамалары бар.

Рутил сымына айтарлықтай жақсартулар енгізілді, бұл сым түрі кернеуді алып тастау үшін өндеуден кейін соққы тұтқырлығын төмендетуге жауап беретін қоспалар мен Карбид құраушы элементтердің санын шектеу мақсатында шикізатты мұқият іріктеу жолымен титан/бор әсерін қолданады. Сондай-ақ, кейбір сымдарда диффузиялық сутегі жылдамдығы оны H5 санатына жіктеу үшін жеткілікті төмен (5 мл/100 г қосылған металдан төмен). Бұл әр түрлі аспектілер Боннеде егжей-тегжейлі сипатталған (осы кітаптың 4 және 5 тарауларын қараңыз).

7.4.4 Дәнекерлеу шарттарының маңыздылығы

Көп өтпелі дәнекерлеу жағдайында әрбір өту ең жоғары қол жеткізілген температураға байланысты өзгеріп тұратын микроқұрылымды түрлендірулердің басында жүреді. Осылайша, [DEF 94]-да көрсетілгендей, HAZ жергілікті морттық аймақтарды қамтиды (ағылш. LBZ - local brittle zones). HAZ күрделілігі 7.15 суретте схемаланған.

Соңғы жылдары жүргізілген зерттеулер мартенситтен және қалдық аустениттен (М-А қосылыстары) тұратын белгілі бір микроқұрылымды компоненттердің беріктікке рөлін атап

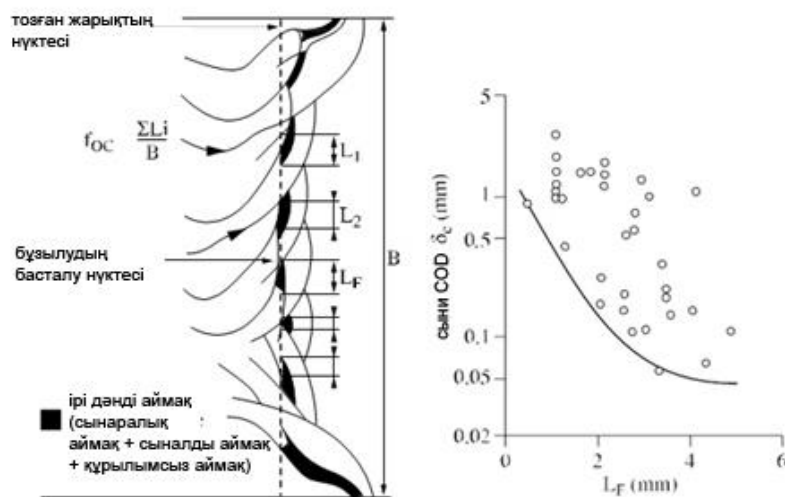
өтті. Бұл қосылыстардың морфологиясы соққы тұтқырлығына әсер етеді. Бұл әсіресе ірі қосылыстар М-А (2 мкм астам) және/немесе қатты массалар (4-тен аз нысан коэффициенті), олар соққы тұтқырлығының төмендеуіне әкеп соғады. Бұл қосылыстар жергілікті морттану аймақтарын құрайды.

7.26 сурет жалпы жергілікті морттық аймақтың COD-ге әсері туралы сапалы түрде айтуға мүмкіндік береді. LBZ - бұл келесі құрамдастардың сомасы:

- шектен кем алаңда қыздырылған ірі астық аймағы,
- сынаралық алаңда қыздырылған ірі астық аймағы,
- ірі астықтың түрлендірілмеген аймағы.

1990-ші жылдардың басында Каплан "Multipasses" деп аталатын бағдарламалық үлгілеуді әзірледі, ол С-Мп болаты жағдайында, негізгі болаттың құрамына толтырғышқа және дәнекерлеу параметрлеріне (кернеу, қарқындылық, жылдамдық, пайдалы әсер коэффициенті, алдын ала қыздыру температурасы және өту арасындағы температура), соққы тұтқырлығына тікелей әсер ететін LBZ пропорциясына байланысты бағалауға мүмкіндік береді.

Мұндай болжау құралдары болат өндірушілеріне де, дәнекерлеушілерге де көмектеседі [DEV 94].



Сурет 7.26 Тозған жарықпен ұстап алынған COD және LBZ үлесі арасындағы ара қатынасы; [AII 88]-ден

7.4.5 Қалдық кернеуді бағалау және есепке алу

Дәнекерлеу жұмыстары және олармен байланысты технологиялар деформацияға және қалдық кернеуді жасауға әкеп соқтыратын жылдам қыздыру және салқындату фазаларын қамтиды. Дәл деректер болмаса, олардың деңгейі материалдың серпімділік шегіне тең екенін ескеру пайдалы, бұл көптеген жағдайларда модельдеуде алынған нәтижелерге сілтеме жасағанда тиімсіз.

Бұл саладағы модельдеу және симуляция 1980 жылдары Францияда Дэво мен Леблондпен әзірленген "SYSWELD" бағдарламалық қамтамасыз етуді әзірлеуден басталды. Металлургиялық өзгерістерге қатысты өз идеяларын олар Р. Блондо [BLO 75] және А. Симон командасының жұмысына негіздеген, олардың қысқаша мазмұны [SIM 93] келтірілген.

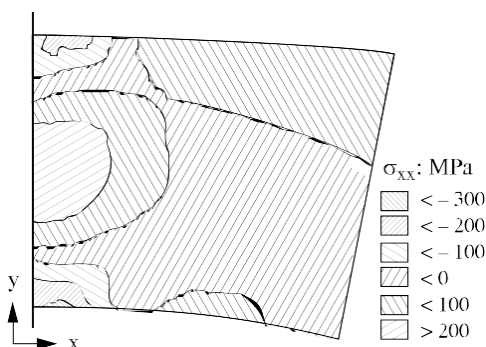
Бұл бағдарламалық қамтамасыз ету термиялық, металлургиялық және механикалық аспектілерді ескере отырып және дәйекті талдау арқылы жұмыс істей отырып, дәнекерлеуді модельдеуге мүмкіндік береді. Дәнекерлеу параметрлеріне сүйене отырып, термометаллургиялық есеп кез келген уақытта пайда болған температура мен фазаларды алуға мүмкіндік береді. Бұл кезең температураға байланысты жылу өткізгіштігінің, меншікті жылу сыйымдылығының және көлемдік массасының өзгеруін ескереді.

Одан әрі механикалық есептеу, өзінің табиғаты бойынша қызусерпімді және

металлургиялық айналуларға байланысты әртүрлі құбылыстарды есепке алуды талап етеді. Механикалық сипаттамалар фазалардың арақатынасына байланысты. Көлемнің вариациясын және иілгіштіктің түрленуін ескеру қажет. Сандық модельдеу болаттың бірнеше түрлеріне ғана қол жетімді материалдарға қатысты бізде көптеген деректер болуын талап етеді.

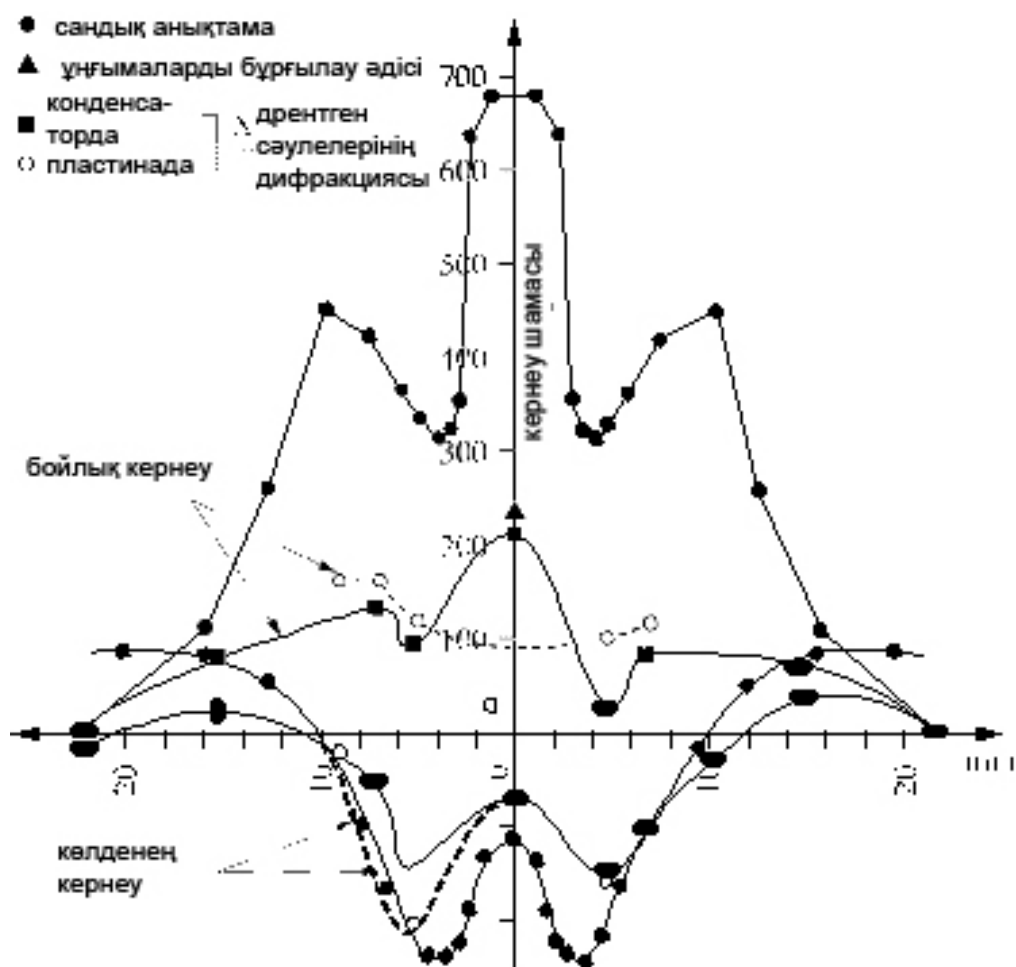
7.27 суретте 10CrMo9-10 болатында ЕВ сыйымдылықты дәнекерленген жігімен алынған бойлық және округтік қалдық кернеулерді бағалау мысалы келтірілген. Білікше шекарасы мен ішкі созылатын кернеулердің жанында бетінде қысқыш кернеулердің болуын атап өткен жөн. Борттардан екі жағынан бетінде созылатын кернеу болады. Кернеуді сапалы бөлу рентген сәулелерінің дифракциясымен және тесіктерді бұрғылау әдісімен расталды (7.28 суретті қараңыз). Есептеу және эксперименталдық әдістердің арасындағы сандық айырмашылық айтарлықтай болды және 2D талдаудың көмегімен түсіндіріледі [DEV 89].

Модельдеу басқа жағдайларда дәстүрлі эксперименттік әдістермен қол жетімді емес ақпаратты алуға мүмкіндік береді.



Сурет 7.27 Көлденең кернеулерді бөлу; [DEV 89]-ден

Бұл деректер, атап айтқанда, қалыңдығы бойынша көлденең қалдық кернеу, түрлі бұзылу критерийлерін пайдалана отырып, рұқсат етілген ақаулардың мөлшерін бағалау үшін А. Карметпен назарға алынды. Бұл қадам көптеген жағдайларда әртүрлі қабылдау ережелерін ауырлығын азайтуға мүмкіндік берді [CAR 90].



Сурет 7.28 Қалдық кернеулер. Есептеу/ эксперименттік салыстыру; [DEV89]-ден

Бурдекин қалдық кернеулерді ескере отырып, дәнекерлеу қосылыстарының бұзылу қаупін бағалау бойынша жаттығуларды бірге жинады [BUR 96].

Әр түрлі қосылыстар үшін қалдық кернеулерді үлестіру мысалдарын әдебиетте табуға болады. 1996 жылдан бастап Яноштың бастамасымен X және XV IIW комиссия мүшелерінен құрылған жұмыс тобы құрылды. 1997 жылдан бастап ұсынылған құжаттардың атауы [JAN 00] жиналды.

Дөңгелек үстел басында он команда жиналды, олар құбырларды дәнекерлеу үшін сақиналы қосылыстарды имитациялауды жүргізді. Бірінші нәтижелер көрсеткендей, қолданылатын әдістерге сәйкес маңызды өзгерістер осы нүктеде термиялық талдау кезінде де байқалуы мүмкін. Бұл жұмыстың мақсаты неғұрлым келісілген нәтижелерді алу мақсатында іске асыру әдістері бойынша ұсыныстарды әзірлеу болып табылады [KOP 00].

ECA, EDF және Framatome командаларын бірлескен зерттеу шеңберінде 316L аустениттік болатта цилиндрді көп жүрісті дәнекерлеу кезінде кернеуді таратуға қатысты біртекті нәтижелер алу үшін әртүрлі кодтар (Castem 2000, Aster және Sysweld) қолданылды. Осы мақсатта, әсіресе әр түрлі дәнекерлеу жолдары кезінде жылу циклін талдауға қатысты эксперименттер жүргізілді. Микрографиялық зерттеу кейбір түзетулер енгізуге мүмкіндік берді. Есептеулер эксперименталды әдістермен анықталған кернеулермен келісіледі [KIC 00].

Беткі бөлігі өңделген және өңделмеген болат қағаздарды пісірімдеу

Автомобиль нарығы жабыны бар және жабыны жоқ жұқа табақталған болат қағаздардың негізгі тұтынушысы болып табылады. Жұқа қағаздың қалыңдығы 5 мм-ден кем деп саналады.

Көлік құралдарының салмағын азайту арқылы қоршаған ортаның ластану жағдайына сәйкес келуге тұрақты ұмтылыс жасау барынша жіңішке әрі беріктігі жоғары жайма болатты пайдаланудың артуына әкелді. Бірнеше жыл бойы техникалық сипаттамалары өте жоғары болат қағаз нарыққа шығуда, олардың беріктік шегі 600 МПа-дан асады және 1500 МПа-ға жетеді. Осы жаңа өнімдердің ішінде біз екі фазалы болат (Usiphase D 600), TRIP болаты (Usiphase T 800), көпфазалы құрылымды болат (Usiphase M 1000) және мартенситикалық құрылымды болат табамыз, олар штамптау кезінде термикалық түрде өңделген (Усибор 1500).

Автокөліктердің төзімділігін арттыру қажеттілігі коррозияға төзімділікті едәуір жақсартуға арналған жабынды болат қағаздарды жасауға да негізделеді. Жабындар металл, кейде оларға жұқа органикалық жабын қосылады. Ыстық мырышталған болат (таза мырыш) нүктелік дәнекерлеуге жарамдылығын жақсарту мақсатында қоспа қылып шығарып өндеуден (Galvialia) өтетін ең танымал өнім (Extragal) болып табылады. Коррозияға төзімділікті арттыру үшін мырыш-алюминий қорытпасынан (Galfan) мырышталған болат пайдаланылады.

Сондай-ақ, жұқа органикалық жабынды (Usiplex) қосу мүмкіндігі бар электромырыштық жабын (Usicar) пайдаланылады. Еуропада 1990 жылдан 2000 жылға дейінгі аралықта автомобиль өнеркәсібінде пайдаланылатын жабыны бар болат қағаздың үлесі 39% -дан 84% -ға дейін өсті.

Жұқақағазды болат үздіксіз дамитын өнім болып табылады. Мұның белгісі ретінде, бес жыл бұрын қазіргі кезде сатылатын болаттың 50% болмағанын білу жеткілікті.

Бұл әзірлемелер болаттың функцияларына және, атап айтқанда, оны дәнекерлеу арқылы байланыстыру үшін маңызды нәтижелерге ие .

Бұл мәселелер жұқа қағаздар үшін пайдаланылатын негізгі дәнекерлеу әдістерін көрсететін келесі бөлімдерде талқыланады:

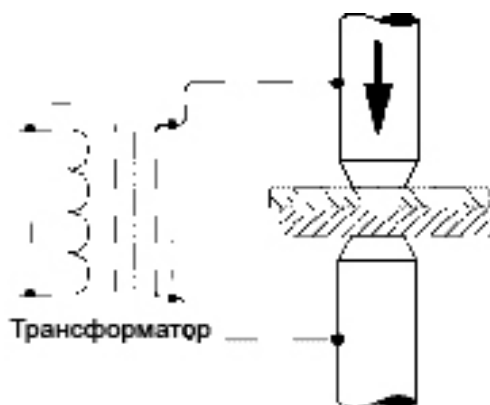
- Нүктелік дәнекерлеу,
- жікпен дәнекерлеу,
- лазермен дәнекерлеу,
- ұнтақ сыммен дәнекерлеу

8.1 Нүктелік дәнекерлеу

8.1.1 Дәнекерлеу қағидалары

Нүктелік дәнекерлеу жікпен дәнекерлеу, рельефті дәнекерлеу немесе түйіспе қосылыспен қатар түйістіріп дәнекерлеу тобына жатады. Ол қалыңдығы әдетте 0,5-тен 10 мм-ге дейінгі 2 (не одан көп) қағаздарды бекіту үшін пайдаланылады. Бұл екі қағаздың сипаттамалары (құрамы, жабыны) әртүрлі болуы мүмкін және олардың қалыңдықтары бірдей болуы тиіс емес екендігіне назар аударыңыз.

Тарихта 1877 жылы бекіту арқылы өтетін күшті электр тоғының әсерін жылытқыш ретінде пайдалану арқылы екі болат қағаз жинаған дәл Томсон болды. 8.1-суретте нүктелік дәнекерлеу қағидасы көрсетілген: байланысты ұстап тұру үшін екі қағаз екі электрод арасында қысылған. Содан кейін, осы құрастыру арқылы күшті тоқ өткізіледі, ол қағаз бен қағаздың байланысқан нүктесінде дәнекерлеу нүктесінің балқытылған ядросын жасайды. Салқындаған кезде осы пәсәру нүктесінің балқытылған ядросы екі қағазды біріктіреді.



8.1-сурет Нүктелік дәнекерлеу қағидасы

Дәнекерлеу шарттарын нақты түсіну үшін төмендегі параметрлерді есепке алған жөн:

- дәнекерлеу тоғы: kA, әрбір B,
- қысу күші: kH,
- циклдің ұзақтығы: бір секунд.

8.1.2 Нүктелік дәнекерлеу кезіндегі пісірімділік сынақтары

Қағаз пісірімділігі деп біз оның нүктелік дәнекерлеу үшін жарамдылығын зерттеуді түсінеміз. Францияда автомобиль өндірісі үшін қағаз болаттың талаптарына сәйкестігін сынау туралы мәселені қарастыру кезінде бұл зерттеулер әдетте NF A 87-001 [NOR 94] стандартында ұсынылған әдіске сәйкес жүргізіледі. Бұл осы қағаз үшін оның *пісірімділік ауданын* және оны дәнекерлеу үшін пайдаланылатын *электродтың беріктігін* анықтау мәселесі болып табылады.

Механикалық беріктік тұрғысынан, екі жағдайда да нүктелік дәнекерлеу сапасының өлшемшарты дәнекерлеу нүктесінің ядросының диаметрі болып табылады. NF A 87-001 стандартында берілген *«дәнекерлеу нүктесінің ядросы»* терминінің анықтамасы мынадай: *«Нүктелік дәнекерлеудің қиратушы сынақтарынан кейін бір немесе екінші қағазда қалатын тойтарма»*.

Зерттеуге сәйкес, бұл қиратушы сынақ әртүрлі тәсілдермен жүзеге асырылады. Дегенмен, барлық жағдайларда, қиратушы сынақ нүктелік дәнекерлеу жігіне сөзсіз күмән келтірмейтінін атап өту қажет (қосарлы байланыстырушы жазықтықтың үзілуі, дәнекерлеу түктесінің үзілуі және т.б.)

Дәнекерлеу жігінің минималды және максималды диаметрлері штангенциркуль көмегімен өлшенеді. Қолайлылық критерийі минималды диаметрге де, (қалыңдығы 1,5 мм-ден кем қағаз үшін 3 мм-ден үлкен және одан қалың қағаздар үшін 5 мм-ден үлкен) екеуінің орташа мәніне де (қалыңдығы 1,5 мм және одан көп қағаз үшін 4 мм-ден үлкен және одан қалың қағаздар үшін 6 мм) жатады.

8.1.2.1 Пісірімділік аумағы

Зерттеудің бұл түрі үшін пайдаланылатын сынақ үлгілері айқыш пішіннің созылу үлгілері болып табылады (келесі бөлімді қараңыз).

NF A 87-001 стандарты пісірімділік аумағын *«бұрын анықталған өлшемшарттарды қанағаттандыратын аққыштық шегі бар нүктелік дәнекерлеуге мүмкіндік беретін дәнекерлеу тоғы күшінің тиімді мәнінің диапазоны»* ретінде анықтайды.

Дақтың диаметрі және сол себепті механикалық беріктік тоқтың тиімді мәніне байланысты өзгеретінін ескеру қажет. Егер ол тым әлсіз болса, нүкте тым шағын; егер тым жоғары болса, онда балқытылған металл сыртқа шығарылады. Бұл 8.2-суретте схема түрінде көрсетілген.

Пісірімділік аумағы деп біз $[I_{\min}, I_{\max}]$ интервалын түсінеміз, мұндағы $I_{\min}$ – қолайлы диаметрді беретін ең аз тоқ, ал $I_{\max}$ -лақтырынды жасамайын ең көп тоқ.

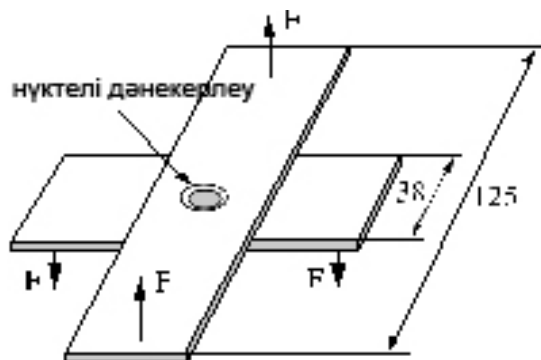


8.2-сурет. Дәнекерлеу жігі диаметрінің тиімді тоқ күшіне сәйкес сапалы өзгеруі

Ағыту

Берілген тоққа сәйкес болатын нүктелік дәнекерлеудің диаметрін өлшеу үшін, екі үлгіні 8.3-суретте көрсетілген конфигурацияда бірге дәнекерлейді. Олар осы қалыпта қысқыш құралмен пісіргенге дейін және дәнекерлеу кезінде тұрады. Дәнекерлеу ден кейін созу екі қарама-қарсы күшті салу арқылы жүзеге асырылады, олардың мақсаты екі бөлікті бөлу болып табылады. (8.3-суретті қараңыз)

Қолданбалы тартым күші уақыт өте келе дәнекерлеу жігі үзілгенге дейін ұлғаяды. Содан соң оператор түйме минималды және максималды диаметрлі екі қағаздың біреуінде түймеқаншалықты шығып тұрса, соншалықты ұлғаятындығын, сондай-ақ бекіту мүмкін болмаған күш деканьютонда ұлғаятындығын көрсетеді [NOR 94].



8.3-сурет. Созу сынақтарына арналған айқыш үлгілер

8.1.2.2 Электрод беріктігі

Бұл сынақ дәл осындай дәнекерлеу жағдайларын сақтай отырып, электродтар жиынтығы арқылы орындалатын сапалы нүктелік дәнекерлеу жіктерінің мөлшерін бағалауға арналған.

Бұл үшін жаңа, бірақ іске қосылған электродтар пайдаланылады және тозған жолақар

деп аталатын қағаздар дәнекерлеу аумағының жоғарғы шетінде пісіріледі. Электродтың алдын-ала есептелген беріктігін есепке ала отырып, әрбір 200, 100 немесе 50 нүкте механикалық сынақтар үшін 10 нүктеден бақылау жолағын жасайды. Осы бақылау диапазонында алынған дақтың диаметріне сәйкес, оператор сол тиімді ток мәнін сақтап, сынақты жалғастыруды немесе осы тоқты *ағытуды* шешеді. Шынында да, егер дәнекерлеу нүктелер электрод тозуымен байланысты сапа стандарттарына сәйкес болмаса, әдетте олардың белсенді бетінің ауданының ұлғая келе болатын тозу (электрод тозуы өнімнің пісірімділік аумағына тікелей әсер етеді: ол жоғарғы жағына жылжиды және төмендеу беталысына ие). Тоқтың осы төмендеуін емдеудің бір жолы - тиімді ток қуатын арттыру. Бұл операция *ағыту* деп аталады.

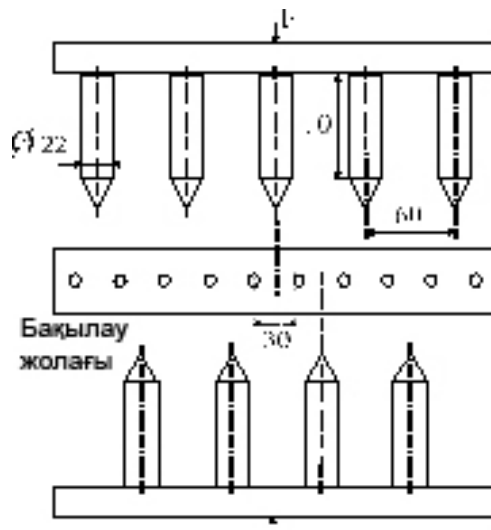
Ағыту кезінде, қолданыстағы тиімді ток мәні пісірімділік аумағының жаңа жоғарғы шегіне сәйкес келеді. Осылайша, тозған электродтардың ағуынсыз максималды токты қайта анықтау керек.

Егер оператордың бағалауы бойынша тоқтың пайыздық ұлғаюы тым үлкен болса және үзікті жік аумағына пісірілген байланыс жігінің саны тым аз болса немесе дәнекерлеу нүктесінің сапасы қолайсыз болса, сынақ оператордың бастамасы бойынша тоқтап қалады,

Нүктелік диаметрді өлшеу

Бақылау жолағының сапасын бақылау үшін бір мезгілде 10 нүктелі дәнекерлеу жігін алып тастайтын құрылғы пайдаланылады [NOR 94]. «Жақтар» деген атаумен танымал бұл құрылғы 8.4-суретте схемалық түрде көрсетілген.

Симметрия есебіне қарағанда, екі пісірілген ұштардың диаметрлері маңызды деп саналмайды.



8.4-сурет. Ондаған нүктелік жіктерді бір мезгілде бөлшектеуге арналған құрылғы

8.1.3 Жұқа болат қағаздарды нүктелік дәнекерлеу кезіндегі пісірімділік

Бұл бөлімде жұқа болат қағаздардың әртүрлі топтарының пісірімділігін қарастырамыз:

- металл жабыны бар болат қағаз,
- органикалық жабыны бар болат қағаз,
- беріктігі жоғары болат қағаз.

Металл жабыны бар болат қағаздың пісірімділігіне арналғын бөлімге келетін болсақ, осы өнімдерді аралық жиіліктің тұрақты тоғын пайдалану арқылы дәнекерлеу артықшылығына жаңа мағына беріледі.

NF A 87-001 стандарты дәнекерлеу шарттарын ұсынғанда қағаздың екі параметрін ғана ескереді: қалыңдығы мен созылу беріктігінің шегі. Сонымен қатар, қағаздардың бөлінген жеріндегі жабыны бар беттердің саны, сондай-ақ жабынның қалыңдығы да (10 мкм-нан жоғары, төмен немесе оған тең) олардың құрамына қарамастан ескеріледі.

8.1.3.1 Металл жабыны бар болат қағаздар

Біз қазіргі уақытта нарықта металл жабыны бар бірнеше бұйымдарға арналған дәнекерлеу сипаттамаларының нәтижелері бойынша нұсқауларды сақтайтын бөлімдерден таба аламыз. Бұл жабындардың көпшілігінде мырышталған, гальваникалық, электро-мырыш немесе темір-мырыш жабындар бар екендігін атап өту керек.

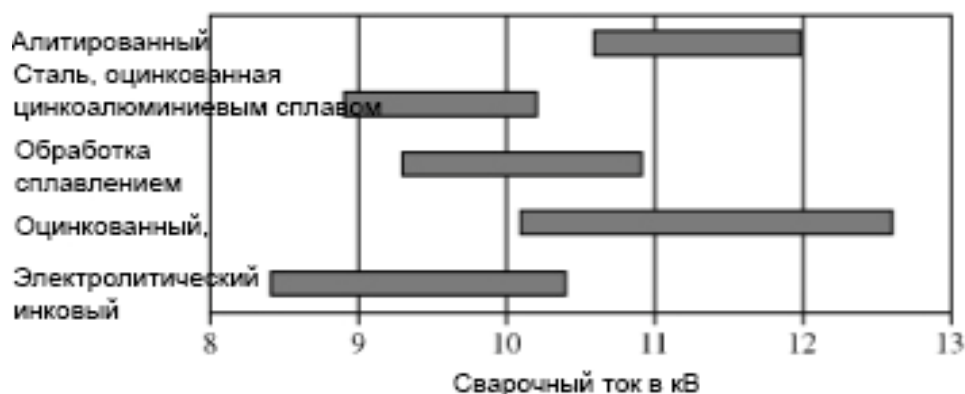
Таза өнім мырышпен қапталған өніммен ауыстырылғанда не болады? Дәнекерлеу параметрлеріне келетін болсақ, егер күш өзгеріссіз қалса, мырыш жабынын әр қабаты үшін дәнекерлеу уақытын интервалмен ұлғайту керек.

Бұл ұлғайту қажет, себебі ол мырышты жоюды қамтамасыз етеді. Мырышталған қағаздағы пісірімділік аумағы күшті тоқ жаққа жылжиды және тоқ азаяды. Электродтың қызмет ету мерзімі қысқарады. Шын мәнісінде, қызмет ету мерзімі дәл сол электрод жиынтығы бар мыңдаған нүктелік дәнекерлеу жіктерінен жүздеген дәнекерлеу жіктеріне дейін қысқарады. Электродтардың қирату механизмдері өзгереді, ал өңделмеген қағазда механикалық қирату ғана болады, жабыны бар қағаздарда электродтың қызмет ету мерзімін тез қысқартатын химиялық өзара әрекеттесулер орын алады.

Мырышты, мырышталған немесе электролиттік мырыш жабындарына келетін болсақ, зертханалық сынақ нәтижелері мен тұрақты түрде өнеркәсіпшілерден келе жатқан тәжірибе (атап айтқанда, үлгілі іріктемесі бар автомобиль өндірушілері) электролиттік мырыш қағаз мырышталған қағазға қарағанда электродтың қызмет ету мерзімін ұзартатынын көрсетеді.

Бұл күтпеген жағдай болуы мүмкін, бірақ түсіндірмені, ыстықтай түсірілген мырыш жабынының құрылымынан табуға болады: оның құрамында қағаздың/жабынның бетінде Fe_2Al_5 беткі қорытпасының өте жұқа қабаты бар. Бұл қорытпа темір / мырыштың диффузиясына кедергі келтіреді және осылайша мырыш жабынындағы осы тежеуші қабаты жоқ электролиттік мырышты жабын жағдайына қарағанда, сұйық мырышқа ұзағырақ қол жекізуді қамтамасыз ететін темір төсемнің диффузиясын болдырмайды.

Сұйық цинк пен электрод мысының өзара әрекеттесу уақыты мырышталған қағаз жағдайында ұлғаяды, электрод деградациясы ұлғаяды, бұл гальваникалық жабыны бар мырышқа қарағанда электролиттік мырыштағы электрод беріктігінің ұлғаюына әкеледі.

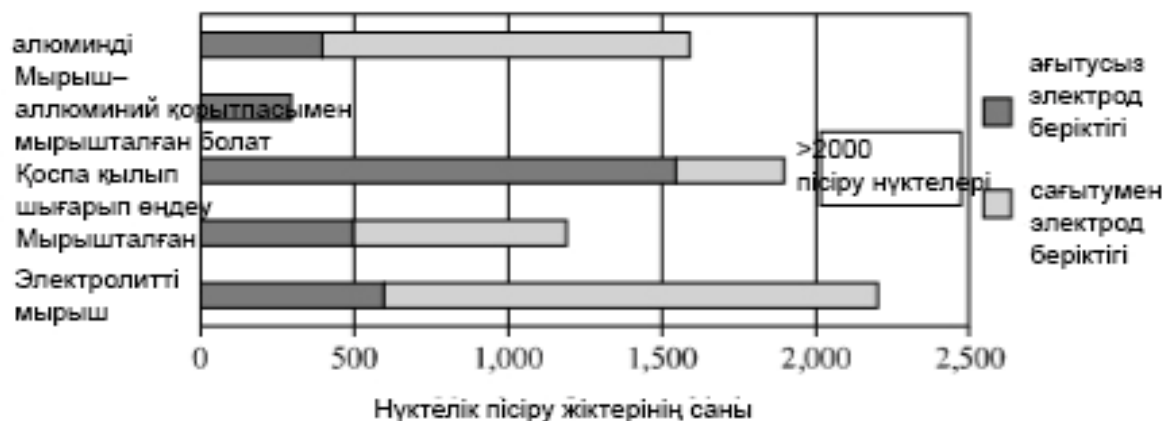


8.5-сурет. Металл жабыны бар қағаздардағы пісірімділік аумақтары

8.5-суретте металл жабыны бар негізгі өнімдерге қолданылатын пісірімділік аумақтарының мысалдары көрсетілен. Графиктегі мәндер жеке тестке сәйкес келетінін және қорытынды нәтиже ретінде қарастырылмайтындығын атап өту қажет.

Металл жабынның болуы дәнекерлеу нүктесінің механикалық қарсылығына әсер етпейді.

Электрод беріктігі жөніндегі нәтижелер 8.6-суретте көрсетілген. 8.5-суретте де көрсетілгендей, төменде берілген нәтижелер жеке тесттің нәтижелері болып саналады.



8.6-сурет. Металл жабыны бар қағаздардығы электрод беріктігі

8.1.3.2 Тікелей тоқ көмігімен нүктелік дәнекерлеу (DC)

Тұрақты тоқ генераторының тиімділік тұрғысынан артықшылығы бар, себебі дәл сол тиімді тоқты алу үшін айнымалы тоқ генераторы тоқтың жоғары лездік мәндерін қамтамасыз етуі тиіс.

Тұрақты тоқтың дәстүрлі генераторлары (түзетілген алтыфазалы сияқты) айтарлықтай қымбат, сондықтан альтернативті технология жасалды. Бұл генераторлар «орташа жиілік» термині ретінде танымал, өйткені олар шамамен 1000 Гц жиілікте сигналды үзеді, бағасы-айнымалы тоқтың дәстүрлі генераторлары мен тұрақты тоқ генераторларының арасындағы баға.



8.7-сурет. Дәстүрлі тұрақты және орташа жиілікті түзетілген айнымалы тоқтың толқындық диаграммасы

Пісірімділік тұрғысынан алғанда, төмендегідей артықшылықтар бар.

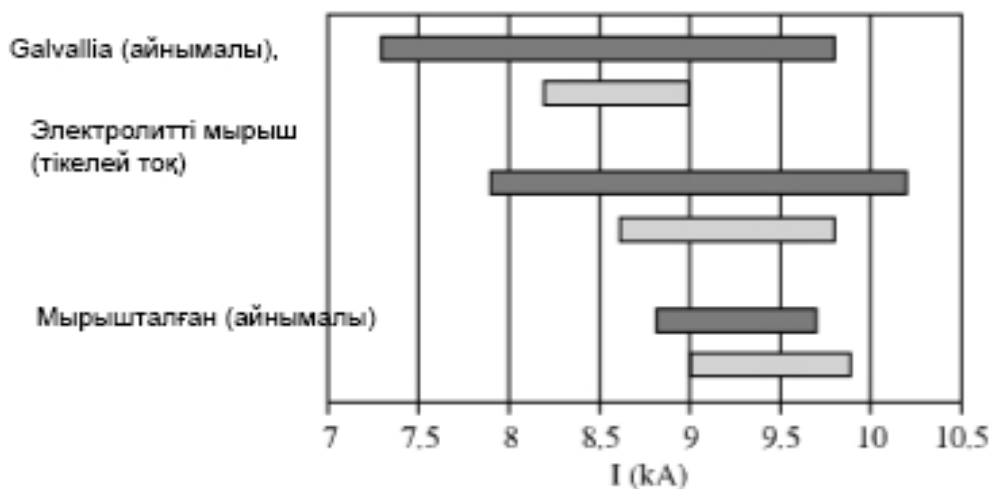
Тұрақты тоқпен қамтамасыз етілетін электр энергиясы айнымалы тоққа қарағанда көбірек, бұл тезірек дәнекерлеуге мүмкіндік беретін еді немесе тоқтың айтарлықтай төмен деңгейлерінде көбірек болады, бұл, әдбетте, тиімді [WES 93].

Электр энергиясын қолданудағы ең көп үзіліссізлік дәнекерлеу нүктесінің балқытылған ядросын жасауға пайдалы, мысалы айнымалы тоқ сигналдарына тән тоқ шыңдарының себебінен уақытынан бұрын ағытуды болдырмау арқылы[BOS 92]. Жиынтық әсері айнымалы тоқта болмайтын, қағаз бен электрод арасындағы Пельтье электротермиялық әсері (тораптағы электр тоғынан өту себебінен Джоуль әсеріне қоса жылу шығару немесе сіңіру) тұрақты тоқта қайтадан маңызды болады және тоқ поляризациясы дұрыс бағытта болса, диссимметриялық бекітуді оңай дәнекерлеу мүмкіндігіне әкеледі. Дәл сол әсер электродтың ассимметриялық тозу көзі болуы мүмкін. [DRO 93].

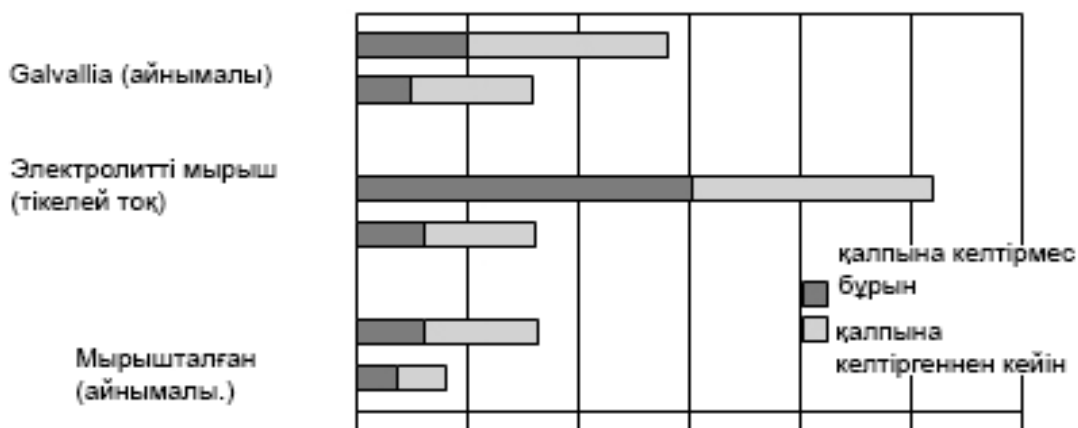
Мырышталған қағазды нүктелік дәнекерлеу үшін тұрақты тоққа өту тиімді және

пісірімділік аймағын кеңейту және электродтың беріктігін анық түрде жақсарту арқылы қол жеткізіледі (8.8 және 8.9-суреттерді қараңыз).

Дегенмен, жабын табиғатына байланысты, бұл әсерлер әртүрлі. Бұған қоса, тікелей ток [DUP 00] көмегімен дәнекерлеуді толығымен меңгерместен бұрын, бірқатар механизмдерді түсіну қажет.



8.8-сурет. Пісірімділік аумағының орналасуы



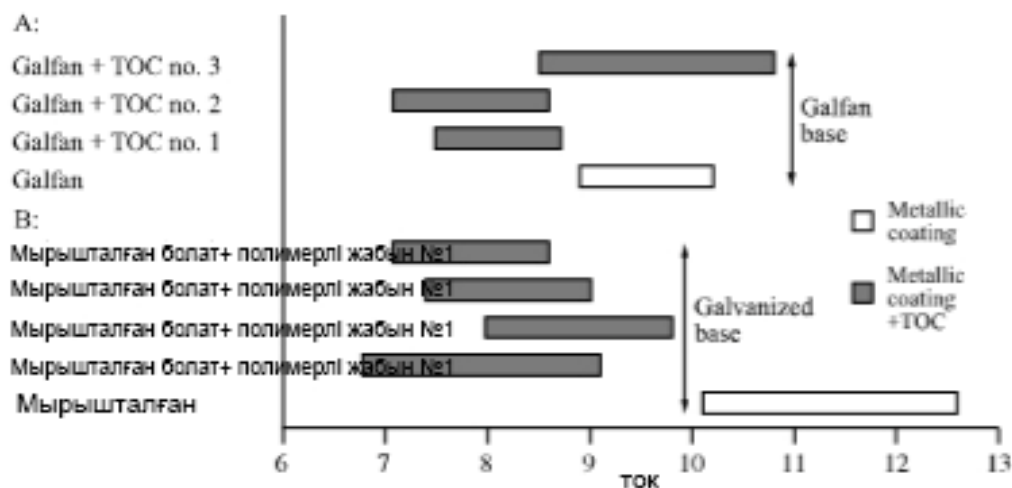
8.9-сурет. Электрод беріктігі

8.1.3.3 Органикалық жабыны бар қағаз болат

Органикалық жабынның болуы ерекше құбылыстарды әкеледі. Жабынның бұзылуы, әдетте, иіс шығумен және кейбір жағдайларда ұшқынмен (сынамамен) байланысты қатты шерту дыбысының пайда болуымен қатар жүреді. Ток ағымының басында дәнекерлеу сигналдарының бұзылуы байқалады. Бұл қалыпты жұмыс өнімділігімен салыстырғанда кернеудің асып кетуіне және тоқтың төмендеуіне байланысты.

Нүктелік дәнекерлеу жігінің механикалық беріктігіне органикалық жабынның болуы әсер етпейді. Бір жағынан, бұл жалпы статикалық қарсыласудың 10 000 есе ұлғайтуға әкеледі.

Екі жақты өнімдерге келетін болсақ, әдетте органикалық жабынның болуы пісірімділік аумағында төменгі ток шектеріне қарай (2-ден 3кА-ге дейінгі) жылжуға әкелді (2-ден 3 кА-ға дейін). ЖОЖ (жұқа органикалық жабын) қосу пісірімділік аймағының еніне нейтралды немесе теріс әсер береді (8.10-суретті қараңыз).



A: тұрмыстық техникаға арналғын ЖОЖқағазы(Solready)

B: полимерлі жабыны бар пісірілетін қағаз (Usiprime W)

8.10-сурет. Органикалық жабыны бар өнімдер үшін пісірімділік алаңдарын салыстыру

Жабынды оңтайландыру металл қабаты бар электродтармен салыстырғанда, электродтың қызмет ету мерзімін айтарлықтай жақсартуға мүмкіндік береді. Дегенмен, оңтайландырылмаған жабынмен электродтың қызмет ету мерзімі айтарлықтай азайтылуы мүмкін.

8.1.3.4 Беріктігі аса жоғары болаттар

Жаңа беріктігі аса жоғары болаттар қауіпсіздік, деформация және салмақты азайту қабілеттерін есепке ала отырып, автомобиль өнеркәсібінің қажеттіліктерін қанағаттандыру жасалды. Сонымен қатар, бұл болаттарды бекітуді әдетте, шанақтың өңделмеген қаңқасын өндіруде кеңінен пайдаланылатын әдістер мүмкіндігі болуы тиіс.

Оның беріктігі, пайдаланудың қарапайымдылығы мен шығынның аздығы арқасында, түйістіріп дәнекерлеу құрылымдар мен тіректерде қолдануға арналған беріктігі аса жоғары қағаз болатты байланыстырудың қолайлы тәсілі болып қала береді.

Сонымен бірге, аналитикалық бейімделуді және термомеханикалық процесті талап ете отырып, өте жоғары беріктік пен жақсартылған штамптаудың жалпы талаптарын қанағаттандыру үшін бірнеше металлургиялық әдістер бар.

Дисперсоидтары бар болаттар және ыстық қағашдарға арналған бейнит болаттар сияқты дәстүрлі металлургиялық әдістермен қатар, екіфазалы болаттар ең қызықты әзірлемелердің біріне айналды: өте жақсы жоғары механикалық беріктік пен жақсартылған форматтылық арасында керемет ымыраға қол жеткізуге мүмкіндік бере отырып, ферритті матрицада мартенситті аймақтарды алу (5% -дан 20% -ға дейін қатынаста),

Екі фазалық диапазонның әдеттегі өкілі Usiphase D 600 болып табылады: бұл класстың мақсаты- 20% минималды ұзаруда 600 МПа созылуға минималды беріктікке қол жеткізу. Екіфазалы болаттар туралы қосымша ақпарат алу үшін [BAB 99] сілтемесін қараңыз.

Нүктелік дәнекерлеу кезінде пісірімділікті Usiphase D 600 жабыны жоқ, мырышталған қағазда, сондай-ақ, қосындыланған өңдеуден өткен мырышталған қағазда (немесе Galvallia) зерттелген. Оның нүктелік дәнекерлеуге жарамдылығы NFA 87-001 стандартында сипатталған дәнекерлеу параметрлеріне сәйкес біркелкі теңестіріледі.

8.1-кестеде ұйғарынды диапазонға тән бірнеше форматта, қалыңдықта және жабында дәнекерлеуге арналған хаттамалар сипаттамасы мен сынақ нәтижелері көрсетілген.

8.1-кесте. Usiphasе D 600 нүктелік дәнекерлеу кезіндегі пісірімділік сипаттамалары

Күйі	Қалыңдығы. (мм)	Күші (даН)	Дәнекерлеу уақыты (пер.)	Қысу уақыты (пер.)	Токмин. (кА)	ТокМакс. (кА)	Дәнекерлеу аумағы (кА)	Электрод беріктігі (ағытуға дейін/ағытудан кейін)
Жабыны жоқ	1.2	400	14	14	7.1	8.6	1.5	Анықалмаған
Gz*	1.45	450	3* (9+2)	20	8.8	11.2	2.4	600/1,200
Ga**	1.5	450	3* (9+2)	20	8.4	11	2.6	1,800 (анықталмаған)

* Gz: мырышталған** Ga: Galvalliа = қосындыланған өңдеуден өткен мырышталған (жасытылған)

Нәтижелер жабындарға қарамастан (мырышталған және қосындыланған өңдеуден өткен) стандартты параметрлері бар біртектес құрама бөлшектердің жақсы пісірімділігін көрсетеді. Барлық жағдайларда пісірімділік аумағы 1,5 кА-ден жоғары, бұл жалпы қабылданған ең төменгі мәнді құрайды.

Usiphasе D 600 жабыны бар қағазды пайдаланатын құрама бөлшектерде электродтардың беріктігі талаптарды қанағаттандырады және Usiphasе D 600-ге қарағанда, төсемге түсірілген жабындар үшін есепке алынатын жалпы қабылданған мәндерден көлем тәртібі бойынша ерекшеленбейді. Барлық форматтардың ауқымды талдауы мырышталған қағаздер мен Galvalliа Usiphasе D 600 қағаздары үшін ағытуға дейінгі электродтардың қызмет ету мерзімі 600-ден 1000-ға және 1800-ден 2,400-ге дейінгі дәнекерлеу жігі ауқымында өзгерген.

Беріктігі жоғары болаттарды нүктелік дәнекерлеу кезінде орын алуы мүмкін құбылыс – ішінара созу кезіндегі немесе жүз пайыздық созу күшінің әсерінен жалғаушы жазықтықта дәнекерлеу жігінің үзілуі.

Белгіленген үзілу режимдері аса жұмсақ болаттарда болатын үзілулерден (созу кезіндегі үзілу) ерекшеленеді. Олар өнімдердің пісірімділігін анықтау үшін толық созуға негізделген стандартты үлге сынақтарын қолдануды қиындатуы мүмкін. Жалпы, бұл нақты қиратушы режимдер олардың шығу тегі мен нүктелік дәнекерлеу жігінің механикалық беріктігіне қатысты ықтимал әсері туралы үлкен жаңылыс көзі болып табылады.

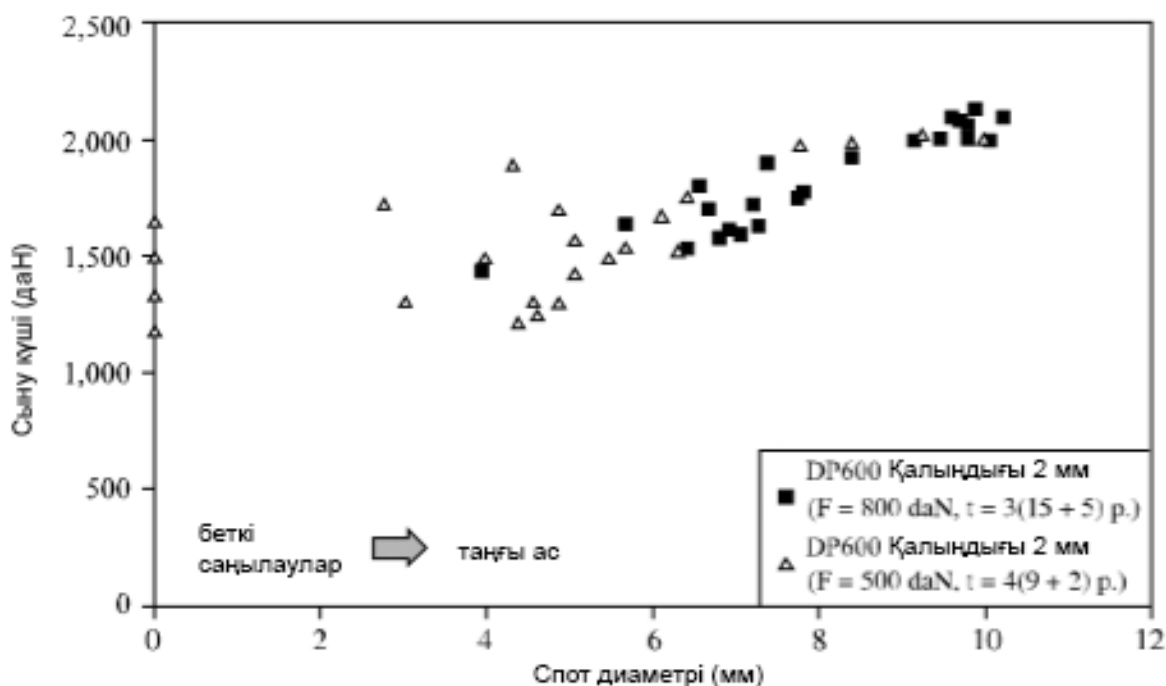
Бұл нақты үзілудің шығу-тегі құрамында өте қатты фазалар бар дәнекерлеу жіктерінен келеді: мысалы, термиялық өңдеуге сезімталдығынан, екі фазалы болаттарды нүктелік дәнекерлеу негізінен мартенситтен тұрады. Осы қатты ядролар мен қағаз бетінің/қағаз ойығының түбінің жақындығы деформациялылығы төмен өзекте кернеудің шоғырлануын ұлғайтады және жалғаушы жазықтық бойымен созу кезінде үзіліп кетеді.

Дәнекерлеу уақытын және беріктігін арттыру арқылы фазааралық және ішінара үзілу мәселелерін болдырмауға болады және қалыпты ағытуға оралуға болады. Күшейтілген дәнекерлеу нүктесін алу тілік түбі мен мартенсит ядроны бөледі және осылайша ядродағы кернеу шоғырлануын азайтады [FER 97].

Бір мезгілде күш пен дәнекерлеу кезеңінің ұлғаюы тілік түбі мен дәнекерлеу нүктелерінің арасындағы қашықтықтың артуына байланысты жалғаушы жазықтықтағында үзіктердің жоқтығына әкеледі.

Сонымен қатар, Usiphasе D 600 Galvalliа құрылғысында қалыңдығы 2 мм болатын , екі шартқа (стандартты және уақытша параметрлер) сәйкес пісірілген байланыстырдың үзуші-қиратушы жүктемесі мәндерінің талдауы беткі және ішінара үзілудің пайда болуы нүктелік дәнекерлеудің механикалық беріктігіне айтарлықтай әсер етпейтіндігін көрсетеді. Пісірімдеу жүктемесін және дәнекерлеу уақытын ұлғайту айырық бетінде үзілуді (нөлдік диаметрлі дағы

бар дәнекерлеу жіктері) болдырмайды және үзілу күшінің таралуын төменгі деңгейде шектейді (8.11 суретті қараңыз).



8.11-сурет. *Usiphase D 600 Galvallia үшін қалыңдығы 2мм дақ диаметріне байланысты созу жүктемесінің пайда болуы*

8.2 Жікпен дәнекерлеу

Жікпен дәнекерлеу - бұл екі болат қағаздар арасындағы үздіксіз дәнекерлеуді қамтамасыз ететін түйіспелі дәнекерлеу процесі. Бұл пісірілген қосылыс сыртқы беттерге кернеу генераторына қосылған екі мыс электродты үйкеліспен жылжыту арқылы қағаздарды қойғаннан кейін алынады. Қағаздардың бөлінген жерінде пайда болатын Джоуль әсері олардың электродтарға қарай жылжуымен бірге үздіксіз дәнекерлеуге қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Бұл процесс, қосымшаларға сәйкес, бойлық жікпен дәнекерлеу түрлеріне жататын белгілі түрлерін білдіреді.

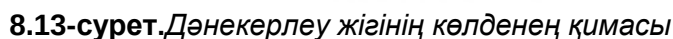
8.2.1 Жиектерді талқандайтын доңғалақты дәнекерлеу

Екі қағаз арасындағы үздіксіз дәнекерлеу олардың беттерін жалпайту үшін қажет болғанда пайдаланылатын әдіс-талқандайтын айқышты нүктелік дәнекерлеу. Металлургиялық өнеркәсіп үнемі үздіксіз босандату, электролитті мырыш жабыны, мырыштау, қалайыландыру немесе бақылау процестерінің басында бұл процесті үнемі пайдаланады. Бұл өндірістің үздіксіздігіне байланысты катушкаларды қосуға мүмкіндік береді. Автомобиль өнеркәсібінде дәнекерлеудің осы режимі бір операцияда баспалауға арналған композитті дайындамалар жасау үшін қолданылады. Осы процесті пайдалана отырып, машина өндірушісі қос мақсаттарға қол жеткізуге тырысады: артық қадамдарды жою және машина салмағын төмендету (қажет жерде қажетті қалыңдықта) бойынша тұрақты жетекті сақтау арқылы өндіріс шығындарын азайту.

Қазіргі сәтте талқандайтын нүктелік дәнекерлеу көмегімен екі жиекті біріктіру дәнекерлеудің тура әдісі болып табылады. Осылайша, оларды кесу арқылы желімделетін жиектерді дайындау керек. Бұл операция үшін, шеберханадағы қарапайым қайшы жеткілікті. Содан кейін алынған шеттерді бүкіл ұзындығы бойымен сәл жабады. Тұрақты түрде жабу осы кезеңде негізгі талап болып табылады. Сурет 8.12-суретте осы дәнекерлеу әдісі схемалық

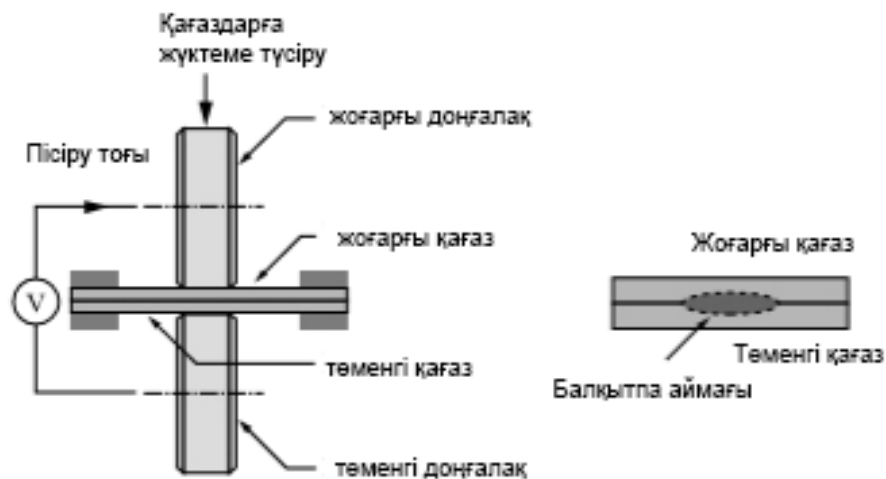


Осылайша , дәнекерлеу жолағы ені бойынша бірнеше миллиметрге қалыптасқан және екі қағаздың сомасына қарағанда, қалыңдығы төмен (8.13-суретті қараңыз).



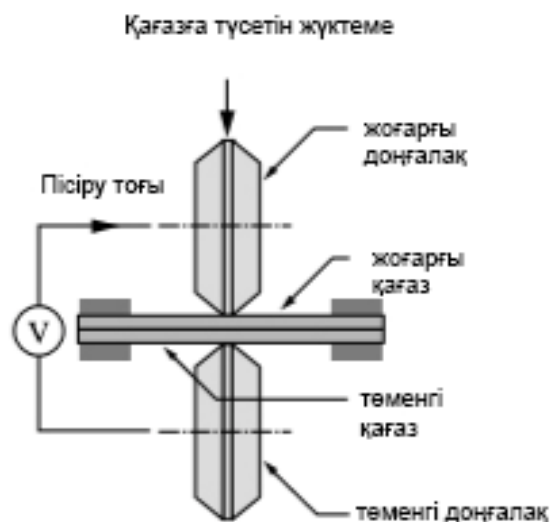
- кең жікпен қабаттап дәнекерлеу;
- тар жікпен қабаттап дәнекерлеу.

8.14-суретте дәнекерлеу режимін кең жіктің қабаттап тігу схемалық түрде көрсетілген.



8.14-сурет. Кең айқыш жікпен дәнекерлеу

Доңғалақтың профилі жазық, сондықтан дәнекерлеу күшінің таралуы бірқалыпты. Тар айқас пігіспен дәнекерлеу нақты бейсимметриялы профильді доңғалақтарды әрекетке келтіруді (8.15 суретті қараңыз).



8.15-сурет. Тар айқыш жікпен дәнекерлеу

Осы екі дәнекерлеу режимдерін анықтайтын параметрлер:

- дәнекерлеу тоғы,
- дәнекерлеу күші,
- дәнекерлеу жылдамдығы.

Айқыш талқандайтын нүктелік дәнекерлеуден айырмашылығы, қабаттасудың осы тәсілі арқылы қисықсыздықты дәнекерлеу жіктеріне қол жеткізуге болады.

8.2.3 Клиенттер зерттейтін немесе орындайтын қолдану мысалдары

Цистерналар, радиаторлар, қазандар мен резервуарлар сияқты қолданбаларда дәнекерлеу жігінің ауа немесе су өткізбеушілігі балқытылған өзектердің үздіксіздігіне байланысты. Оны зертханада микрофотографиялық бақылаулар (бойлық тіліктер) және дәнекерлеу жігі бетінің тұрақтылығын бақылау арқылы оңай бағалауға болады. Өндірістік жағдайда қысым астындағы сынақтар (бөшкелерге арналған гелий, 8-ден 10 барға дейінгі қысымдағы су -радиаторлар мен қазандар үшін, резервуарлар арналған вакуум) өндіріс желісінде жүзеге асырылады.

Бойлық дәнекерлеу ретінде танымал белгілі бір нақты қолданба үшін екі дәнекерлеу режимі бар: айқыш талқандайтын нүктелік дәнекерлеу және тар қабаттап пісірілген қосылыс.

Айқыш талқандайтын нүктелік дәнекерлеу жағдайында дәнекерлеу тоғы әдетте бірфазалы модульденбеген ток болып табылады. Дәнекерлеу жылдамдығы 10-нан 15 м/мин аралығында болады. Көптеген жағдайларда қағаздарды біртіндеп жабу *Z-тәрізді темір* деп аталатын құрылғы қамтамасыз етеді. Оның мәні әдетте 1,5-тен 2 мм-ге дейін болады.

Механикалық түзету мәселелерінен басқа (жабуды реттеу), осы қолданба үшін жиі кездесетін қиындықтар доңғалақтардың белсенді беттерінің тозуын бақылау бойымен дәнекерлеудің басында және соңында (қысыммен тексеру кезінде жоғары жүктемесі бар аймақтар) болат түріндегі өзгерістерге және оның сапаға әсеріне байланысты.

Тар қабаттап пісірілген қосылыс жағдайында жабу дәнекерлеу жігінің қалыңдығына қарай қабаттасу 4-6 мм-ге жетуі мүмкін, ал дәнекерлеу жылдамдығы 1-3 м/мин аралығында болады.

Алитті қағаздан жасалған резервуарлар үшін кездесетін мәселе негізінен балку аймағында кеуектіліктің болуына байланысты. Олардың өлшемі дәнекерлеу жігі толығымен герметикалық болуын тоқтататындай мүмкін. Электродтардың белсенді беттерінің апатты нашарлауы көбінесе белсенді беттердің механикалық өңдеуін талап етеді. Кейде дәнекерлеу параметрлерін (күш, жылдамдық, ток және модуляция) оңтайландыру қажет. Бұл қолданба үшін дәнекерлеу жігі бетін сумен салқындату (электрод пен қағаздың бөлңнген жеріндегі екі бетінде) доңғалақтардың белсенді беттерінің бұзылуын барынша азайтуға мүмкіндік береді.

Радиаторлар мен қазандарда қолданылған жағдайда, көбінесе жабыны жоқ, пайдаланылатын өнімдерді дәнекерлеуге болат түрінің немесе кейінгі процестердің (мерзімді босандату, үзіліссіз босандату) өзгеруі әсер етуі мүмкін. Осылайша, радиатор панельдерін жабу үшін жасалған жіктік дәнекерлеу жіктері жинақылық ақауларының аймағы болуы мүмкін. Ал дәнекерлеу параметрлері бейімделуі керек. Дәнекерлеу күшінің ұлғаюы және өспелі немесе құлдыраушы тоқ ылдиларын қолдану (ылди немесе құлдырау) негізінен талаптарды қанағаттандыратын дәнекерлеу жігін және кеуектіліктің болмауын қамтамасыз ету үшін жеткілікті.

8.3 Жұқа болат қағаздарды лазермен дәнекерлеу

Лазермен дәнекерлеу жабынсыз дәнекерлеу және жабыны бар қағаздар үшін жақсы бейімделген, бұл ерекше қызығушылық тудыратын сипаттамалары бар дәнекерлеу жіктерін жасауға мүмкіндік береді:

- жабынның шектеулі булануы, осылайша гальваникалық анодтардар коррозияға қарсы ең жақсы қорғаныс;

- тар және еніп кететін білікшелер (5 кВт CO₂ көзімен 10 мм дейін ену, қалыңдығы 3 мм-ше дейінгі қағаздар үшін білікше ені 0,8-2,5 мм);

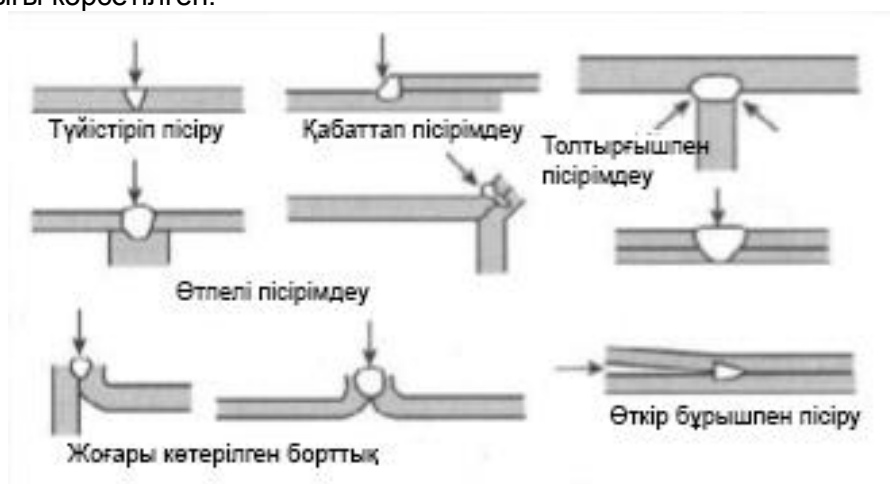
- өте аз деформация және таза дәнекерлеу (мысалы, дайын бөліктерді өңдеусіз дәнекерлеуге мүмкіндік береді);

- штамптаудың жақсы сипаттамаларын және тозуға кедергіні қамтамасыз ететін жақсы механикалық қасиеттер;

- дәнекерлеудің жоғары дәлдігі және өте жоғары жылдамдық.

Автомобиль өнеркәсібінде жиі қолданылатын лазермен дәнекерлеу қазіргі уақытта сенімді өндірістік құрал болып саналады. Кейбір жағдайларда *дәстүрлі* дәнекерлеу

режимдерін соған ауыстыруға тырысады. Осылайша, дәнекерлеу- лазер қолданудың белсенді аумағын тапқан негізгі өндірістік процестердің бірі. 8.16-суретте бекітудің бірнеше түрі қалай қолданылатындығы көрсетілген.



8.16-сурет. Лазермен дәнекерлеу кезіндегі жинаудың түрлері

Келесі бөлімдерде қолданудың тек екі әдісі қарастырылады, түйіс жік және білінбейтін дәнекерлеу(қабаттасып пісірілген қосылыс).

8.3.1 Өтпелі балқытудың лазермен дәнекерлеу қағидасы [BOI92]

Басы: сәуле мен материал арасындағы өзара әрекеттесу

«Құлыптың оймасы» арқылы лазермен дәнекерлеу оптикалық жүйенің фокустық арақашықтығындағы жұмыс кезінде алынатын жоғары энергия тығыздығын талап етеді. Металды балқыту үшін шамамен 106 Вт/см^2 -тан 108 Вт/см^2 дейінгі айтарлықтай жоғары меншікті қуаттылыққа қол жеткізуге болады.

Лазер сәулесі материалмен оптикалық түрде әрекет етеді және онымен жылулық өзара әрекеттесу дәрежесі материал бетінің сапасына және күйімен байланысты түрлі кескіндерге байланысты болады. Бөлме температурасында және толқын ұзындығы $10,6 \text{ мкм}$ кезде, материалдардың шағылыстыру қабілеті кем дегенде 90% -ға жетеді. Балқу нүктесінде материал 95% -ке дейінгі жанама энергияны сіңіреді.

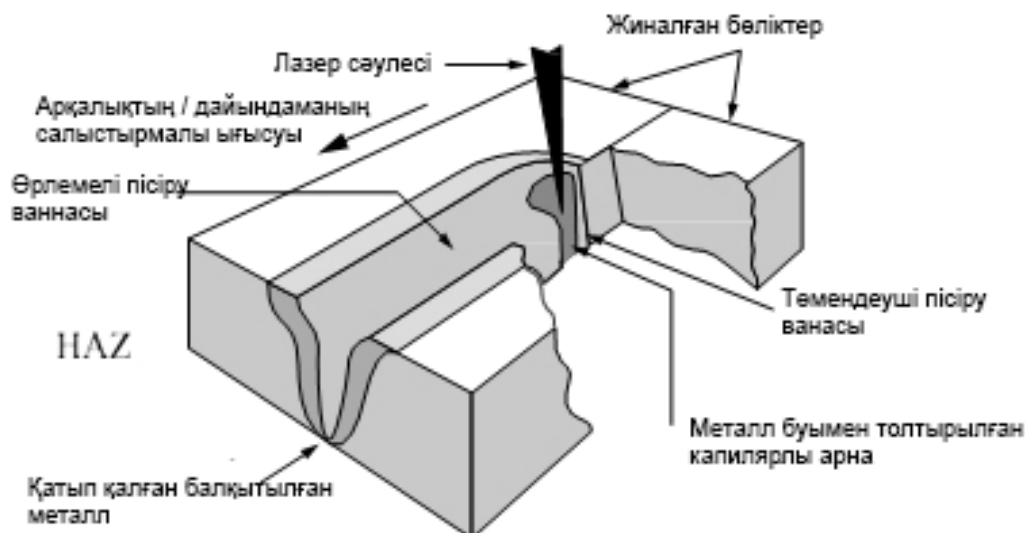
Өтпелі балқыту арқылы дәнекерлеу

Осылайша, оптика бағытындағы сәуле өңделетін бөлікке назар аударады. Басынан бастап лазер сәулесі материалмен өзара әрекеттеседі және оны кейіннен буландыратын дәнекерлеу ваннасын жасау үшін қыздырады. 8.17-суретте көрсетілгендей, балқыманың көлемі біртіндеп ұлғаяды, ал лазер сәулесі капиллярлық арна немесе «құлыптың оймасын» қалыптастыра отырып бірте-бірте материяға енеді.

Дәнекерлеуден кейін дәнекерлеуді сипаттайтын үш аймақ көрінеді:

- ілінісу аймағымен гектелген *балқу аймағы*,
- *термиялық әсер аймағы*,
- *негізгі металл* (жылу әсеріне ұшырамайды).

8.17-суретте дәнекерлеудің көлденең және бойлық тіліктері көрсетілген. Жоғарыда айтылған үш аймақты нақты айқындауға болады. Бүктелген жиек балқытылып қаптастырылған білікше ретінде белгілі, және дәнекерлеу жігінде рөл атқаратын барлық аймақтарды көруге болады:дәнекерлеу ваннасы, «Құлыптың оймасы» арқылы дәнекерлеу кезіндегі бу капилляры және жік айналасындағы аймақ.



8.17-сурет. Дәнекерлеу жігінің көлденең және бойлық тіліктері

Көпкиловатты CO₂ лазерлерінің арқасында, қалыңдығы бірнеше сантиметр болат бөлшектердегі тар және терең дәнекерлеу жіктеріне қол жеткізуге болады. Бұл дәнекерлеу тігстері электронды сәулелер арқылы орындалатындарға ұқсас. Лазердің артықшылығы, негізінен, еркін атмосферада дәнекерлеудің жоғары жылдамдықтарында. Бастапқы ену процесі сәуле қуаты мен пісірілетін материалдың бетіне байланысты.

Плазманың пайда болуы және үрілуі

Плазма «Құлыптың оймасы» арқылы дәнекерлеу кезінде пайда болады, бұл қажетсіз, өйткені ол сәулемен өзара әрекеттеседі және қағазды қатты қыздыратындықтан маңызды болып табылады. Ол металл буларының және қосалқы газдың иондалуы арқылы қалыптасады. Плазма фотон энергиясының басым бөлігін сіңіреді (кейбір жағдайларда 70% дейін). Осылайша, жақсы балқытуға кедергі жасайды, ал оның тұрақсыздығы жылдамдықты шектейді және ақаулар туғызады. Осылайша, сәулені сіңіруге жол бермеу үшін плазманы үру немесе ауытқыту керек. Бұл плазманың шығарылуын оңтайландыру қажет, себебі бұл кеуектілік секілді ақаулардың көзі болып табылады. Құбыр диаметрі, үру бағдары мен ағын, сондай-ақ үру биіктігі мұқият бақылануы тиіс.

8.3.2 Түйіс жік

8.18-суретте лазермен дәнекерлеу жігін қалыптастыру кезінде байқалатын әртүрлі құбылыстар көрсетілген.



8.18-сурет. Дәнекерлеу жігі білікшесінің пайда болуы

Бекітуге жарамды қағаздар жиекке қарай орналасады. Фокусты лазер сәулесінің

астында газ плазмасы бар капилляр қалыптасады және динамикалық теңгерімде балқытылған металл қабаты төселген. Бөліктің шығысындағы сәуле геометриясы маңызды, себебі ол дәнекерлеу жігінің профилін ішінара анықтайды.

Бөлшектерді (немесе лазер сәулесін) көрсетілген бағытта жылжытқанда, балқытылған металл беткі кернеу мен температураның ауытқуы әсерінен алдынан артқа қарай жылжиды. Металдың қатаюы дәнекерлеу жігінің пайда болуына және дәнекерлеудің басталуын көрсететін беткі шеврондардың пайда болуына әкеледі.

Лазер процесінің арқасында жоғары салқындату жылдамдығы (100 -ден $400^{\circ}\text{C}/\text{с}$ дейін) қол жеткізіледі. Металлографиялық деңгейде өзара әрекеттесудің қысқалығы өте аз қоспалардан тұратын өте шағын, біркелкі дәнделі бар микроқұрылымдарды және қоспалауыш элементтері бар болаттар үшін қатайтылған микроқұрылымдарды жасайды. Дәнекерлеу жігінің сапасы көп жағдайда процеске қатысатын барлық механизмдердің теңгеріміне байланысты. Бұл теңгерімді бұзудәнекерлеуақауларын тудыруы мүмкін.

8.3.2.1 Дәнекерлеудің эксплуатациялық параметрлерінің әсері

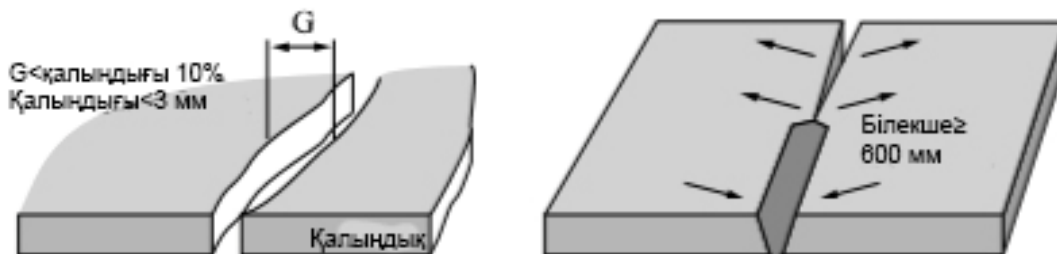
Жоғары сапалы дәнекерлеу жігін алу үшін оның сапасын қамтамасыз ететін бірнеше параметрді түзету қажет. Негізгі параметрлер:

- лазер қуаты,
- дәнекерлеу жылдамдығы,
- фокустық оптика
- тоғысу нүктесінің/қағаз бетінің орналасуы,
- алмастырылатын газдың сипаты мен қысымы,
- шоғыр поляризациясы.

8.3.2.2 Лазер сәулесінің түйіс жігінің шектеуіш шарттары [VER99]

Жиікке қарай орналасқан екі қағазды лажемен дәнекерлеу кезінде, диаметрі жүздеген микрон болатын қуат сәулесі шоғырының тарлығын ескеру қажет. Пісірілетін жиектердің барынша жақын болуы өте маңызды. Бұл екі парақ арасындағы тілікке өте қатаң шектеу қояды. Әдетте, қалыңдығы 3 мм-ден төмен қағаздар үшін, пісірілетін қағаздардың ұзындықтарының арасындағы саңылау қазіргі уақытта нарықта бар, қуаты 6 кВт CO_2 лазерлерін пайдаланғанда қалыңдықтың 10% -ынан аспауы тиіс.

Таза механикалық сипаттағы осы бастапқы саңылауға дәнекерлеу әдісінің арқасында дәнекерлеу барысында қағаздың жылжуын қосу қажет. Балқытылған металды жылдам салқындату лазердің байланыс нүктесінен жоғары қосылысты өзі қамтитын қысу кернеуінің пайда болуына әкеледі. Лазер түсетін нүктенің астында, яғни бекітуге арналған бөлікте, бұл күш өрісі дәнекерлеуге келетін жиектерді ысырады. Дәнекерлеу жігі ұзындығынан 500 мм ұзын қосылыстың осы термиялық саңылау ауқымы тіпті, жиектерді жақсы дайындағанның өзінде қағазды қатты қыспаса, дәнекерлеу әдісін мүмкін етпейді.



8.19-сурет. Болат қағаздар арасындағы тілік: а) механикалық, б) термиялық

Басқа шектеулер көлденең жазықтықта дәнекерлеуге жарамды қағаздардың орналасуымен байланысты, сондықтан лазер сәулесі байланыс сызығына жетеді және байланыстан ауытқымайды. Әдетте, дәнекерлеу сызығына қатысты тоғысу дағының орналасуына қатысты шек шамамен $0,1$ мм болатын балқытпа аймағы енінің 25% құрайды. Ү-

орналасуында осы шекті сақтау үшін, жаңа дәнекерлеу аппараттары түйістерді анықтаудың күрделі жүйелерімен жабдықталған.

Жоғары сапалы дәнекерлеуге өту үшін лазер сәулесінің тарлығын есепке ала отырып, көптеген шешімдер әзірленді. Төменде біз кеңінен қолданылатын техникалық шешімдерді келтіреміз.

Қағаздардың шеттері арасындағы дәлдікке дәнекерлеу алдында престоу немесе лазермен кесу арқылы нақты кесу әдісімен қол жеткізуге болады. Бұл шешімдер әдетте айтарлықтай қымбат болып келеді.

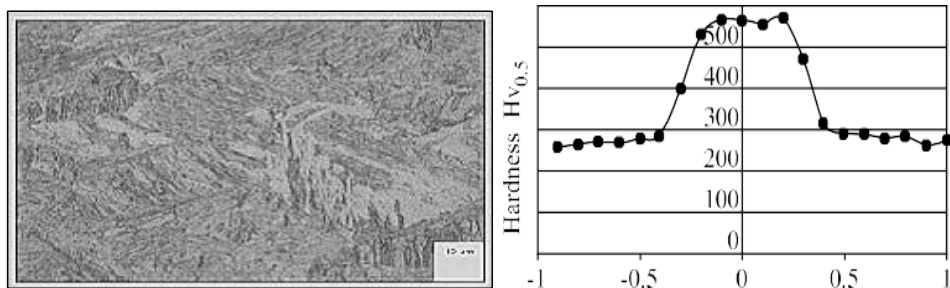
Usinor патенттеген және әзірлеген техникалық шешімдердің қағидасы – қағаз шеттерін дайындама жазықтығында көлденең бағытта әрекет ететін қысым арқылы бір-біріне қарсы ұстап тұру. Көлденең бағытта салынған бұл күштер қағаздың шеттерін бір-біріне қарсы ұстап, қағаз шеттеріне қысым жасайды, бұл қағаздар арасында көрінетін саңылауды жергілікті азайтуға әкеледі. Осылайша, лазер сәулесімен дәнекерлеу процесі дәстүрлі кесу арқылы алынған қағаздардан басталса, жеңілдетіледі.

Бифокалды дәнекерлеу бастиегін, қос YAG лазерін немесе аралас және плазмалы дәнекерлеу лазерін пайдалану пісірілетін қағаздар арасындағы қолайлы шектерді арттыруға мүмкіндік береді.

8.3.2.3 Механикалық ерекшеліктері жоғары болаттарды лазермен дәнекерлеу

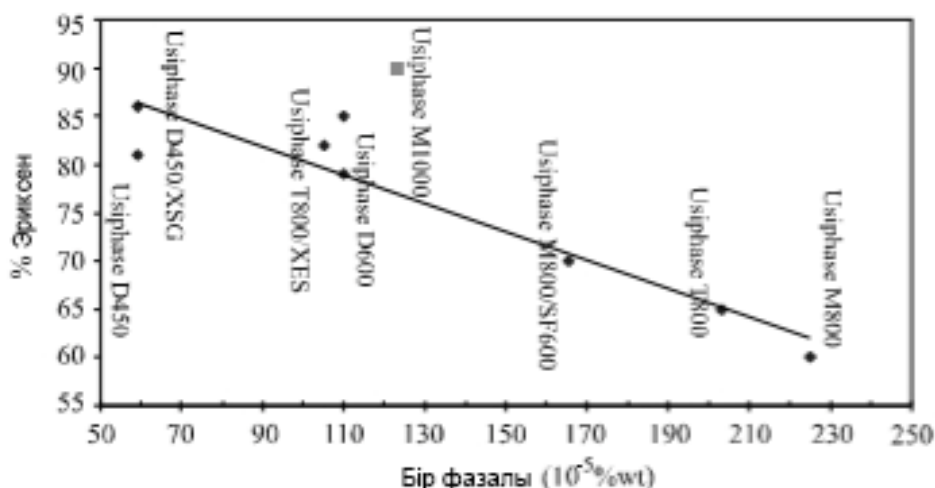
Механикалық ерекшеліктері жоғары болат түрлері қауіпсіздік пен көлік салмағы арасындағы ең жақсы ымыраға ұмтылатын автоөндірушілер үшін үлкен қызығушылық тудырады. Алайда, осы болаттардың пісірімділігі олардың тым жоғары химиялық құрамы байланысты нашарлайды.

Лазермен дәнекерлеуге тән салқындату кинетикасы беріктігі жоғары болаттардың дәнекерлеу аймағында қатты мартенситті құрылымның пайда болуына әкеледі. Бұл осы лазермен дәнекерлеу қосылыстарының қалыптаулығын шектейді. 8.20-суретте мартенситті микроқұрылым және 0,2% көміртекті болаттан пісірілген лазерлі қосылыста байқалатын, қаттылықты анықтау нәтижелері мысал ретінде көрсетілген.



8.20-сурет. Балқытылған металл микроқұрылымы және қаттылықтың қалыптасуы, 0,2% С болат

8.21-суретте көрсетілгендей, лазер арқылы алынған дәнекерлеу діктерінің механикалық беріктігі (үзіп дәнекерлеу қосылысының қалыптау биіктігі оның ең жұқа бөлігіндегі қағаздың қалыптау биіктігімен байланысты: осылай есептелген процент Эрихсен бойынша қалыптау эволюциясы деп аталады) жиналған екі қағаздағы көміртектің орташа құрамына байланысты болады. Орташа көміртек мөлшері 0,17% -дан жоғары болғанда, Эрихсен бойынша қалыптаудың ең төменгі көрсеткіші 70% құрайды. Дегенмен, біркелкі емес дәнекерлеу кезінде (лазер арқылы аралық пісірілген дайындамаларды жасаудың ең көп тараған тәсілі), HS болат түріне төмен көміртекті болаттың қалыпталған түрін қосу дәнекерлеу аймағындағы орташа көміртек мөлшерінің азаюына әкеледі және осылайша, дәнекерлеу қосылысының сығу сипаттамаларын едәуір арттырады. (Usiphasе T800/XES үшін Эрихсен бойынша қалыптау көрсеткіші: 85%).



8.21-сурет. Балқытпа аймағында көміртектің орташа құрамымен Эрихсен бойынша қалыптау эволюциясы

8.3.2.4 Жабыны бар болаттарды дәнекерлеу

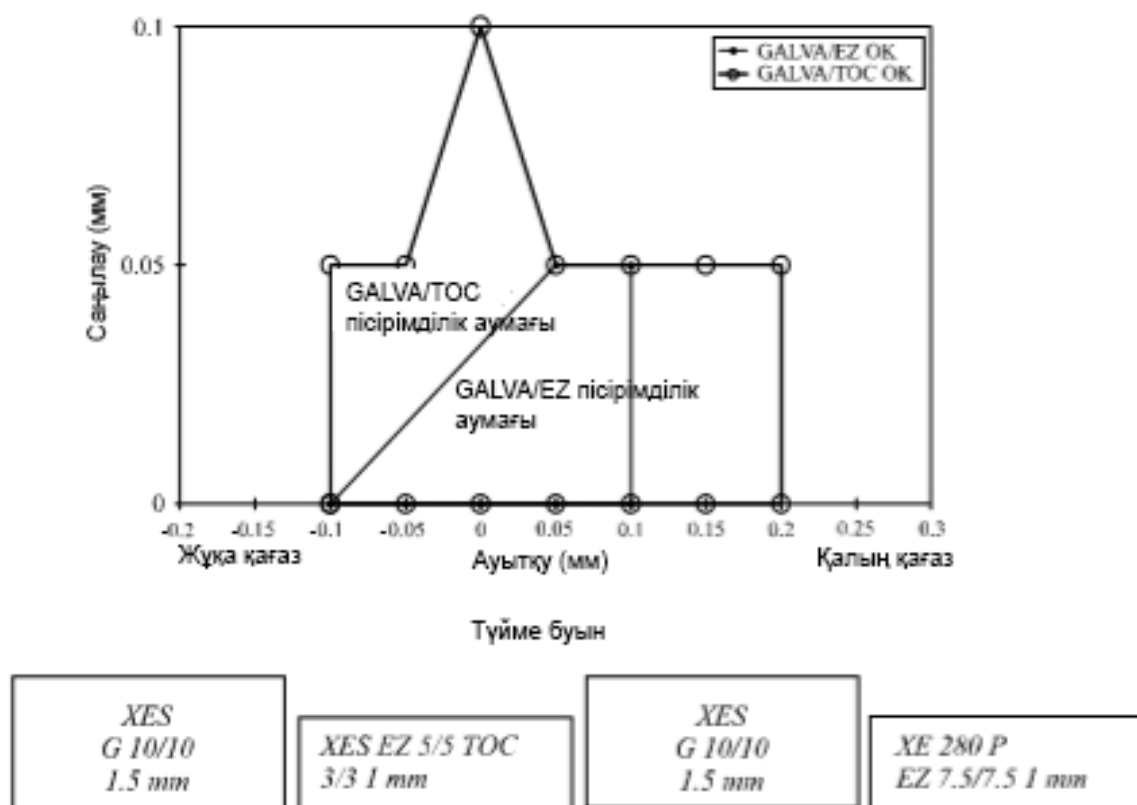
Пайдаланылатын материалдың қасиеттері (шағылыстыру қабілеті, тығыздық, жылу өткізгіштігі, булану температурасы, ионизация энергиясы) энергияның лазермен сіңірілуіне әсер етеді. Мысалы, лазерден шығарылатын монохроматикалық жарық материалдармен азды-көпті сіңіріледі. Сіңу деңгейі лазер толқынының нақты ұзындығына да ($\text{CO}_2 = 10,6$ мкм және $\text{Nd: YAG} = 1,06$ мкм) байланысты. Атап айтқанда, жабынның сапасы лазер сәулесінің энергиясын беттік сіңіруін өзгерте алады. Әдетте лазерлі материал өзара әрекеттесу нұсқасы бар деп айтылады. Бұл бөлме температурасында лазер қуатының 5% -дан 20% -ға дейінгі маңызды өзгерістеріне әкелуі мүмкін.

Бұл дәнекерлеудің қолданбалы максималды жылдамдықтарының өзгеруіне немесе қағаздың лазер астында орналасуы кезіндегі шектердің өзгеруіне әкеледі (лазер қуатына байланысты азды-көпті өткізгіш және кең қосылыс).

Мысалы, Usiplex Zn 3000 жабынының (органикалық жабын неғұрлым күңгірт аспектісі электроксицинді жабыны бар дәл сол болат түйінмен салыстырғанда пісірімділіктің өте кең аумағын қамтамасыз етеді 8.22-суретте электролитті мырыш жинағының мырышталған жинағының (10/10) / Usiplex Zn және (10/10) пісірімділік аумақтары салыстырылады.

Дәнекерлеу параметрлері

Қуаты (кВт)	Не шығыны (л.мин-1)	Фокустық арақашықтық (мм)	V (м.мин-1)
3.6	24	150	4.5



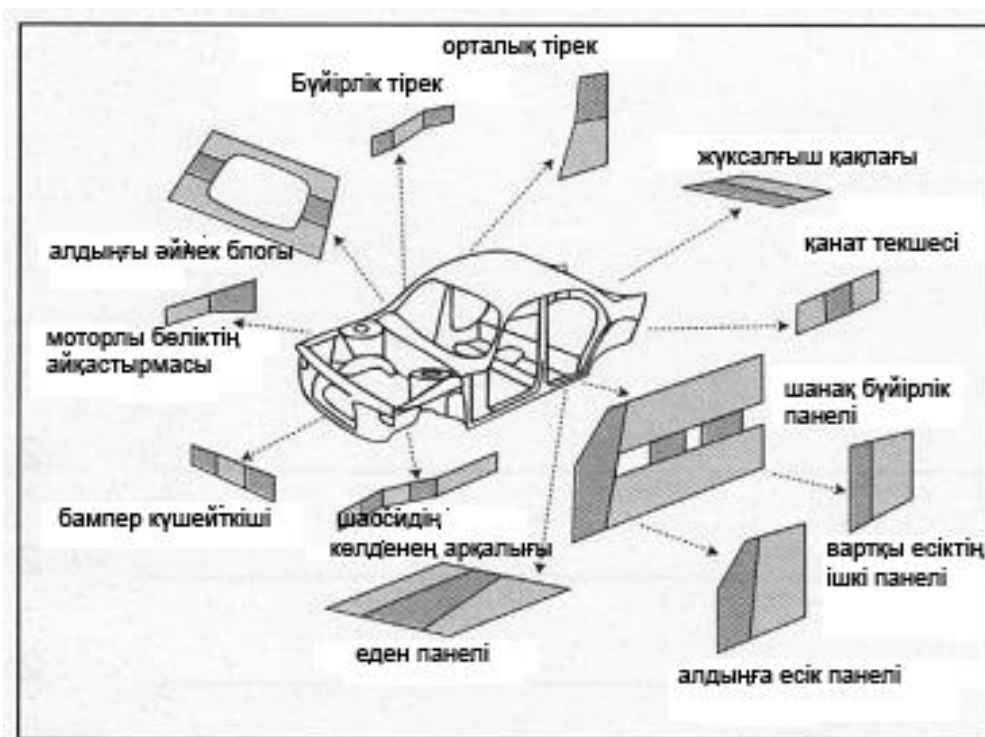
8.22-сурет. Лазермен дәнекерлеу аймағы (лазер сәулесінің ауытқуына байланысты қағаздар арасындағы рұқсат етілген саңылау)

Сонымен қатар, беткі қабаттың төменгі булануы (0,8-ден 2,5 мм-ге дейін) құрылымды коррозиядан гальваникалық қорғауды қамтамасыз етеді. Беткі өңдеуден (фосфаттау) және бояудан (катафорез) кейінгі коррозияға қарсы сынау нәтижелері лазермен пісірілген жіктердің негізгі металмен бірдей коррозиялық қасиеттерге ие екендігін көрсетеді. Сонымен қатар, контакт аймағында мырышталған материалдың әсерінен жабыны жоқ болат қағаздың бедерлі қорғанысы байқалады. Қорғанысаймағыныңенішамамен 5 мм-ді құрайды.

8.3.2.5. Автомобиль өндірісіндегі дайындамаларды лазермен дәнекерлеу [VER99]

Лазермен пісірілген болат – лазермен дәнекерлеу арқылы қалыңдықтары, сипаттамалары немесе беттері әртүрлі екі немесе одан да көп бөлек металл бөліктерінің аралық бекітілуі. Бұл дайындамалар баспалау басу үшін, содан кейін автомобиль өнеркәсібінде, атап айтқанда, жабыны жоқ корпустар мен есіктерде жинауға арналған.

Пісірілетін дайындамалар арқылы жасалған компоненттер шасси элементтері, едендер, қанаттың ішкі шашыратқыштары, есіктер, табалдырықтар және т.б. болып табылады (8.23-суретті қараңыз).



8.23-сурет. Пісірілген дайындамалар бөліктерінің мысалдары

Бірінші өнер кәсіптік дайындамалар доңғалақты жікпен рісіру құрастырылды. Соңғы жылдары жабыны бар қағаздарға әлдеқайда сай келетін лазермен дәнекерлеу әзірленді.

Пісірілген дайындамаларды пайдалану кезінде өндірушілер үшін негізгі артықшылық тармыналар болып табылады:

- салмақтың төмендеуі; пісірілген дайындама қалың болатты тек қажет болған жерге ғана қоюға мүмкіндік береді. Компоненттің түрі мен пайдаланылатын технологияға байланысты 20% -дан 40% -ға салмақты үнемдеу мүмкіндігі бар (сызықты немесе қисық сызықты дәнекерлеу жіктері);

- соққыға төзімділігіне және масса массасының динамикалық қасиеттеріне жақсы әсер ететін қауіпсіздікті арттырады. Лазермен пісірілген дайындамаларды пайдалану соққы болған кезде энергияны сіңіру үшін жапыру аймақтарын қоюға мүмкіндік береді;

- тозуға кедергіні нүктелік дәнекерлеу жіктерін үздіксіз дәнекерлеу жіктеріне ауыстыру арқылы арттыру;

- компоненттер санын азайту және капитал жұмсалымы мен металды баспалауға және қалыптауға кететін шығындар бір мезгілде азаюы кезіндегі өнімділікті арттыруды қамтамасыз ететін өндіріс әдестері мен сатыларын қысқарту;

- жабындарды жергілікті оңтайландыру есебінен, сондай-ақ жабдықталатын элементтердің санын қысқарту есебінен көлік құралдарының коррозиялық сипаттамаларын жақсарту, осылайша қорап элементтерінің коррозияға ұшырауына жол бермейді. Шын мәнінде, шығындарды төмендетуге ұмтылған кезде пісірілетін бұйымдардың табыстылығы, әдетте, қалыптау құралдарына және металды қалыптауға салынатын инвестициялардың азаюына байланысты, және ол қалыңдығын үнемдеу, жабынды жағу және басқа да артықшылықтар есебінен қосымша ұлғаяды.

Әдетте, пісірілетін жайындамалар компоненттің белгілі бір бөлігіне қажетті қасиеттерді беруге мүмкіндік береді. Олар қажет емес жерлерде артық қалыңдықты болдырмау үшін элементтердің массасын азайтады, сондай-ақ оңтайландырылған соққы тұтқырлығы, шаршау беріктігі және коррозиялық сипаттамалары есебінен қауіпсіздікті және беріктікті арттырады.

8.3.3. Қабаттап дәнекерлеу қосылысы

Автомобиль өнеркәсібінде **қабаттап дәнекерлеу** әзірлеу сатысында. Ол жабыны жоқ шанақ корпустарын 3D дәнекерлеу үшін көбірек пайдаланылады. Бұл лазермен пісірілген дайындамаларды пайдаланумен қатар, көлік құралының қаттылығын арттыруға немесе құрылымды жеңілдетуге мүмкіндік береді, бұл қауіпсіздіктің артуына және көлік құралының салмағының азаюына әкеледі. Сонымен қатар, автомобильдерді өндіру кезінде қолданылатын болаттардың көпшілігін декоррозияға қарсы жақсы төзімділік күшін мырыш жабыны болады.

Дегенмен, лазермен қабаттап пісіру белгілі бір мәселелерді тудырады. Шын мәнісінде, мырыштың булану температурасы (906°C) болаттың балқу температурасынан (1540°C) әлдеқайда төмен. Қағаздардың бөлінген жерінде мырыштың булануы балқытылған металды үрледі, балқытылған металда кеуектіліктерді тудыруды және балқытылған металды мырышпен ластауды қамтиды.

Дәнекерлеушілерге дәнекерлеу аймағында мырыштың осы газсызданудан құтылуға мүмкіндік беретін танымал шешім дәнекерлеудің алдында қағаздардың арасында саңылау жасау болып табылады. Akhter және бірлескен авторлары [AKH 88] ұсынған эмпирикалық шешім қағаздар арасындағы қажетті саңылау (g) төмендегі формула бойынша қағаздың қалыңдығымен (e) және жабу қалыңдығымен (r) байланысты екенін көрсетеді:

$$g = \frac{AVr}{\sqrt{ep}}$$

мұндағы V – дәнекерлеу жылдамдығы, A – сәуле сипаттамаларының тұрақты функциясы.

Әдетте қалыңдығы 0,8 мм-ден 3 мм-ге дейін қағаздар үшін қағаздар арасындағы саңылау 0,1 мм-ден 0,2 мм-ге дейін болады.

Дегенмен, бұл шешімді 3D дәнекерлеу кезінде сығымдалған парақтарда жүзеге асыру әрдайым оңай емес. Қағаздар арасындағы саңылау қатаң түрде бақылануы тиіс. Қағаздар арасындағы арақашықтықтың тым үлкендігі дәнекерлеу ваннасының бұзылауына және дәнекерлеу жігінің сапасының төмендеуіне әкеледі. Сонымен қатар, қағаздар арасындағы арақашықтықбекітудің шаршау беріктігінің төмендеуіне әкеледі. Мысалы, қалыңдығы 1 мм қағаздар арасындағы 0,2 мм саңылау шаршау беріктігін шамамен 20% -ға төмендетеді.

Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, саңылауы жоқ, сақиналы дәнекерлеу жігі бар қағаздар үшін жаңа *технологиялық шешімдер* жасалуда [BON 00, HON 00, XIE 99]. Әртүрлі авторлар дәнекерлеу шешімдерін ұсынады: бифокалды дәнекерлеу, көлбеу дәнекерлеу немесе аралас дәнекерлеу (лазер + диод, лазер + плазма және т.б.). Осы шешімдердің барлығы:

- дәнекерлеу алдында қағаздар арасындағы жабынды толық немесе ішінара алып тастау үшін қағаздарды алдын ала қыздыруға;
- лазер сәулесінің дәнекерлеу плазмасымен өзара әрекеттесуін шектеуге;
- мырыш буларын жоюды жеңілдету үшін балқытылған металдың бетін ұлғайтуға;
- мырыш буларын ыдыратуға уақыт бөлу үшін салқындату жылдамдығын азайтуға бағытталған.

Технологиялық параметрлерді бір өнімнен екіншісіне бейімдеу қажет.

8.4 Имектеп дәнекерлеу

Дәнекерлеу жіктерімен жұмыс істеу кезінде имектеп дәнекерлеу процестері, атап айтқанда, газды вольфрамды дәнекерлеу (*инертті газ атмосферасындағы вольфрам*), плазмалық дәнекерлеу және электродпен балқытылатын механикаландырылған аргонмен имектеп дәнекерлеу (*металды белсенді газ*) маңызды рөл атқарады, бұл өнеркәсіпте ең көп кездесетін процесс. Осы процестердің сипаттамасы мен процедурасы 1-тарауда егжей-тегжейлі сипатталғандықтан, біз мұнда жұқа болат қағаздарда табысты дәнекерлеу жіктеріне қол жеткізу үшін қажетті бірнеше ережелерді сипаттайтын боламыз.

Жіңішке өнімдерді қолдану салалары негізінен жалпы өнеркәсіпте болады, онда біз радиаторларды, тұрмыстық су жүйелерін, ауаны кондиционерлеу және, әлбетте, автомобиль өнеркәсібін өндірушілер таба аламыз.

Өнімді жасау аққыштық шегі жоғары (HYS), қарсылығы жоғары болатпен (HR) және мырышпен қапталған өнімдермен байланысты.

8.4.1 Инертті газ ортасында вольфрамды электродпен Имектеп дәнекерлеу

Бұл дәнекерлеу процесі өте жұқа өнімге арналған, ол төмен өнімділікпен жоғары сапалы дәнекерлеу жіктерін алуға мүмкіндік береді. Дәнекерлеу жылдамдығы әдетте 15-тен 50 см/мин-ға дейін болады; Автоматты түрде дәнекерлеу кезінде жылдамдықтар одан жоғары болуы мүмкін [COL 94].

Болатты дәнекерлеу үшін аргоны бар тікелей полярлық (теріс электрод) үнемі қорғаныш газы ретінде қолданылады. Ұсынылатын қосылыстар 8.2-кестеде келтірілген.

8.2-кесте. Инертті газ ортасында вольфрамды электродпен имектеп дәнекерлеуге дайындық түрлері

Қалыңдығы	Имектеп дәнекерлеуге дайындау
0.5 - 2 мм	Дайындықсыз және үзілусіз; толтырғышсыз
<5 мм	60 ° бұрыштағы қиықжиек немесе оның қалыңдығының жартысына тең, саңылауы бар дайындаманың болмауы
>5 мм	Қиықжиек 70° – саңылау = 2.5 мм

Пісірілетін жиектер таза және майсыздандырылған болуы керек. 2 мм-ден артық қалыңдықта енуді жеңілдету үшін мыс тірек пайдаланылуы мүмкін.

Дәнекерлеу параметрлері бекітілетін негізгі металдың сапасы, құрамы және қалыңдығы, сондай-ақ бекітудің әдісі арқылы анықталады. 8.3-кестеде келтірілген параметрлерді механикалық құрылғыларды қиыстыру үшін бастапқы мәндер ретінде қабылдауға болады.

8.3-кесте. Инертті газ ортасында вольфрамды электродпен имектеп дәнекерлеу параметрлері

Қалыңдығы (мм)	Электрод (мм)	Шыбық (мм)	Дәнекерлеу жылдамдығы (см/мм)	Тоқ (А)
0.5	1.6	Жоқ	15 - 25	15 - 30
1.0	1.6	0.8	30 - 50	45 - 60
1.5	1.6	1.2	50 - 60	70 - 100

Пісірілетін металсыз дәнекерлеу кезінде негізгі металға назар аудару керек. Іс жүзінде осы дәнекерлеу түрінде қосылысты жасауға негізге металл ғана қатысады. Балқытылған металға ықпал ететін конвективті қозғалысқа болаттардың құрамында қалған жоюшы элементтер, атап айтқанда, күкірт пен алюминий әсер етеді. Балқытылған металдың пішінін

дұрыс өзгертуін және енуін қамтамасыз ету үшін күкірттің мөлшерін 0,015% -ға, ал алюминийді - 0,015-тен 0,035% -ға дейін шектеу қажет.

8.4.2 Балқитын электродпен имектеп дәнекерлеу

Жұқа болат өнімдер үшін MAG стандартты дәнекерлеу ең кең таралған технологиялық өңдеу болып табылады. Ол 2 мм-ден артық немесе оған тең қалыңдыққа жақсы сәйкес келеді. Одан да жұқа материалдар үшін дәстүрлі MAG өңдеуді пайдалану қиынырақ; бұл жағдайда импульсті режим қанағаттанарлық эксплуатациялық пісірімділікті алуға мүмкіндік береді. NF EN 440 стандартына сай көміртекті марганецті сымқоспалағыш элементтерді: молибден, никель және хромды ең бастысы, балқытылған металда механикалық беріктік қасиеттеріне қол жеткізу үшін қосуға болатын дара сым үшін арналған. Сым негізгі металға және дәнекерлеу жігіне кепілдік беретін механикалық қасиеттерге сәйкес таңдалады.

Қорғаныш газ, ең алдымен, доғада металды ауыстыруды жақсарту үшін 2,5-тен 20%-ға дейінгі ауыспалы құрамды аргон мен CO_2 қоспасы. Бинарлы $\text{Ar} + \text{O}_2$ немесе үш еселенген $\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$ қоспаларының басқа да мүмкіндіктері жоғарыдан төмен ($\text{Ar} + \text{O}_2$) қойылатын тік тігіс, импульсті режимде (үш бөліктен тұратын) балқитын электродпен дәнекерлеу сияқты қолданудың арнайы салаларынан немесе сым сапасына сай болуға арналған. Шын мәнісінде, таза CO_2 металлды доғада осьтік тозаңдату арқылы (немесе тозаңдату доғасының) тасымалдауға мүмкіндік бермейді; екінші жағынан, ол жақсы біріктірілген дәнекерлеуге (кеуектілігі жоқ) жіктеріне қол жеткізуге мүмкіндік береді. Қазіргі таңда, генераторлардың дамуы мен импульстік токтардың пайда болуы тек газ қоспаларын ғана қолдануға және пісірілеін қалыңдықты бірнеше миллиметрге дейін азайтуға мүмкіндік берді, мысалы, шанақ жөндеу панелдері үшін.

8.4.2.1 Ауысу түрлері

Балқитын электродпен имектеп дәнекерлеу кезінде доғадағы металдың ауысу түрі кернеуге, тоққа және пайдаланылатын газдарға байланысты. Берілістің негізгі әдестері төмендегідей:



8.24-сурет. Балқитын электродпен имектеп дәнекерлеудегі ауысу түрлері
Қысқа тұйықталу арқылы металды тасымалдау

Бұл әдіс қысқа доға, әлсіз ток және төмен кернеумен (20 В-дан төмен) толықтырылады. Сымның соңында қалыптасқан тамшы бөлшекке жақын келеді. Оған тиген кезде қысқа тұйықталу пайда болады, ол электромагнитті өзін-өзі созу әсерінен сымнан тамшыны ажыратады. Цикл қайтадан басталады. Тамшы бөлімі бедерлерді тудырады. Қысқа тұйықталу жиілігі 50- 200 Гц аралығында болады.

Бұл режим жұқа қағаздарды барлық қалыпта дәнекерлеуге бейімделген.

Осьтік тозаңдату арқылы металды тасымалдау

Бұл режимде ұзын доға, күшті тоқ (сымның көлденең қимасының 250 A/mm^2 жоғары) және жоғары кернеу (20 В-тан жоғары) бар. Содан кейін сым қысқа тұйықталусыз, бірақ кейбір бедерлермен бөлшекке жобаланған өте кішкентай тамшылар түрінде ериді. Бұл режимді таза CO_2 -мен пайдалануға болмайды.

Қалың қағаздар үшін (6 мм-ден көп) әдетте, жалпақ күйде пайдаланылады.

Шар тәрізді тасымалдау

Бұл режимге қысқа тұйықталудың және осьтік тозаңдатудың мәндері арасындағы кернеу

мен тоқтың аралық мәндерінде қол жеткізіледі. Бөлшекке тиген кезде ретсіз бөлініп, үзілетін үлкен тамшылардың қалыптасуы, олар көптеген бедерлерді тудырады. Бұл тасымалдау режимі бедерлер мәселе болмаған жағдайда, дәнекерлеудің жоғары жылдамдығымен тартымды.

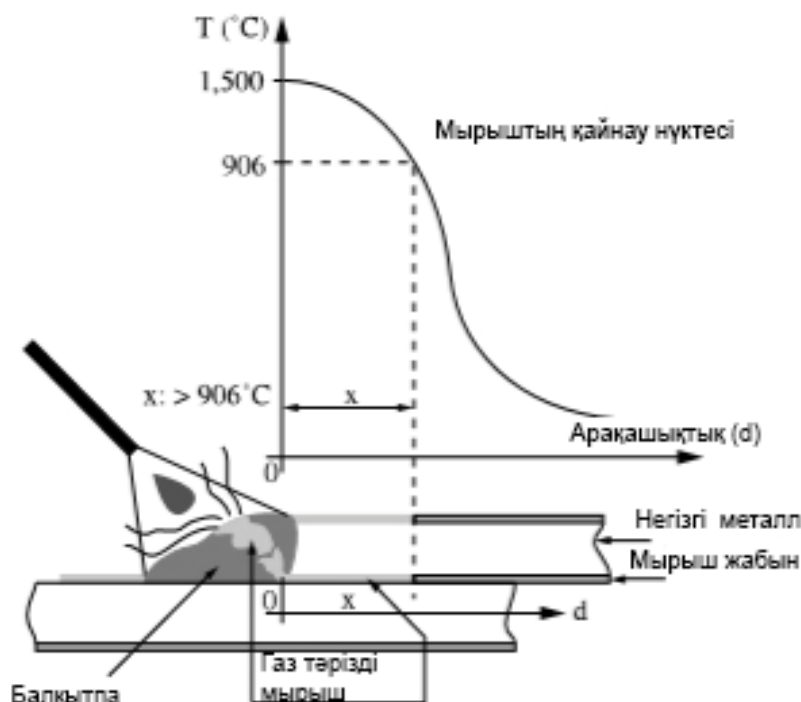
Доғада толтырғышты ауыстыру режимдері электрлік параметрлерге, сым сапасына, оның химиялық құрамына және қорғаныш газына тікелей байланысты. Жұқа қағаздарды дәнекерлеу кезінде балқытылған металл ваннасы бар мыс қосылыстары тіректерін пайдалануды қоспағанда, осьтік тозаңдату арқылы тасымалдау қажетті энергияны ескере отырып пайдалануға қиын.

Ірі тамшылы тасымалдауға (немесе үлкен тамшыға) келетін болсақ, әдетте бұл режимнен барынша аулақ болу қажет, өйткені ол елеулі бедерлерді тудырады. Осылайша, корпус панельдері үшін пайдаланылатын, жұқа қағаздар үшін қысқа тұйықталуды тасымалдау ғана қалады.

Қуат көзі электроникасындағы соңғы жетістік 30-дан 300 Гц-ге дейінгі диапазонда реттелетін және 2 мм-ден кем қалыңдыққа жақсы сәйкес келетін жоғары тұрақтылықты импульсты токтарды қамтамасыз ететін генераторларды жасауға мүмкіндік берді; олар өте жіңішке қағаздар аймағында осьтік тозаңдату арқылы тұрақты түрде тасымалдауға мүмкіндігін береді.

8.4.2.2 Жабыны бар жұқа қағазды болат мысалы

Usicar және Extragal сияқты, жабыны бар өнімдер дәнекерлеудің бейімделген процесін талап етеді [COL 94]. Тұтастай мырышпен қапталған бұйымдарды дәнекерлеудің күрделілігі болатпен салыстырғанда Zn-ның булануы мен балқуының әр түрлі нүктелерінде жатыр. 8.25-суретте дәнекерлеу жігінде не орын алатыны көрсетілген. Мысалда ең жетекші білікше жігін немесе қабатталған жікті қарастырады, себебі өйткені мырыш бу күйде шыға алмайды.



8.25-сурет. Бұрыштық дәнекерлеу жігі немесе қабаттап дәнекерлеу қосылысы

Мырыш шамамен 420°C температурада балқиды және 906°C температурасында буланады, яғни доғаның мырышпен оның бу түрінде «ластануы» деген сөз. Бұл тұрақсыз және айнымалы доғаға, үлкен бедерлерге және балқытылып қаптастырылған білікшеде кеуектіліктің кішкене құрамына әкеледі. Бірінші шешім мырыштың шығуына мүмкіндік беретін жиналған қағаздарарасындағы тұрақты саңылауды сақтау болып табылады. Алайда, мұндай

нәрсеге өндірістің шынайылығы жағдайында кепілдік беру оңай емес.

Тағы бір шешім - дәнекерлеу параметрлеріне әсер ету арқылы мырыш мөлшерін оның бу күйінде шектеу; төмен сымдар және дәнекерлеу жылдамдығы бейімделген, яғни бұл *қысқа тұйықталу* кезіндегі тасымал деп аталады, әдетте жапсарлас бедерлердің елеулі мөлшерін білдіреді.

Мырышпен қапталған өнімдер үшін арнайы толтырғыштар жасалды. Олар, әдетте, бірлік сымда титан және/немесе алюминий сияқты қосымша элементтерді қамтиды. Басқа шешім зерттелді. Ол дәнекерлеу энергиясының өте төмен деңгейімен қол жеткізілетін сымды пайдаланудан тұрады. Қазіргі уақытта толтырғышы бар кейбір сымдар 650 г/м² мырыш жабыны бар бұйымды (қалыңдығы шамамен 50 мкм) дәнекерлеуге мүмкіндік беретін. Sadual ZN балқыту режиміне сәйкес келеді.

Соңғы шешім - балқыту температурасы болатқа қарағанда төмен толтырғышы бар өнімдерді, *дәнекермен дәнекерлеу* процесін қолдану. Ол дәнекерлеу техникасын (негізгі металды балқытусыз толтырғышты балқыту) дәнекерлеу техникасымен байланыстыратындықтан осылай аталады. Мыс негізіндегі сымдар, Cu+8% Al, Cu+3% Si және Cu+0.8% Sn ең жиі пайдаланылатын өнімдер болып табылады. Доғаны қорғау үшін пайдаланылатын газ және балқытылған металл міндетті түрде аргон немесе Ar + He қоспасы сияқты бейтарап немесе инертті газбен қамтамасыз етіледі.

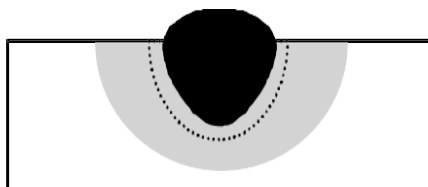
8.4.2.3 HYS және HS болаттарының корпусы

Барлық қоспасыз немесе төмен қоспалы болаттар кем дегенде негізгі металдың баламалы сипаттамалары бар, техникалық және металлургиялық сипаттамалары бар білікшені жағатын дәнекерлеу сымының көмегімен алдын-ала пісіріледі. Содан кейін Soldur 355-700 (дисперсоидты болат), Solform 600 және 800 (ферритті/бейнит болаттар) немесе UHSS (беріктігі аса жоғары болаттар) сияқты өнімдерге қатысты мәселелер туындайды. Сортты неғұрлым жоғары болса, кем дегенде негізгі металға балама техникалық сипаттамаларды алу үшін қолайлы толтырғыштардың химиялық құрамы көбірек болады. Эксплуатация шарттары күрделі болып келеді. Шын мәнісінде, суық шытынау қауіпі негізгі металға емес, толтырғышқа байланысты. Қалыңдыққа сәйкес (5 мм-ден артық) бекітудің дәрежесіне байланысты, алдын ала қыздыру сияқты арнайы эксплуатация шарттарын жүзеге асыруға болады.

Төменде келтірілген жағдайда, білікшелердің қаттылығы кезінде Soldur 700 болатында аралау жүргізілді, яғни әр түрлі дәнекерлеу қуаттарымен аққыштық шегі-700 МПа. Бұл сынақ термиялық аймағының тым көп жұмсартылуынан қорықпай, осы болатқа қолданылатын дәнекерлеу қуатының максималды шегін анықтауға мүмкіндік береді. Шын мәнісінде, жоғары температура кезіндегі тым ұзақ болатын термиялық цикл термомеханикалық илемдеу кезінде алынған техникалық қасиеттерді бұзуы мүмкін.

8.4.2.4 Қалыптастырылған білікше қаттылығының күшеюі

Өртүрлі қуатта орындалған білікшенің қаптауы (бірлік сымды МАДП арқылы тұтас парақта) Soldur 700 көмегімен пайдалануға болатын қуаттың максималды шегін анықтауға мүмкіндік береді.



8.26-сурет. Soldur 700I болатында қалыптастырылған білікшенің қаттылығының пайда болуы

Термиялық әсер аймағының 6 нүктесіндегі HV10 қаттылығын өлшеу + 1 мм дәнекерлеу

сызығында орындалады. 8.4-кесте өлшеу нәтижелерін ұсынады.

8.4-кесте. *Soldur 700* балқытып қалыптастырылған білікшесінің қаттылығы негізінде

Дәнекерлеу энергиясы (кДж/см)	ТӘА6	ТӘА 11	ТӘА 14	Негізгі металл
Минималды қаттылық HV10	262	257	244	275
Максималды қаттылық HV10	278	267	250	283
Орташа қаттылық HV10	270	262	248	280

Дәнекерлеу энергиясы жоғарылаған сайын қаттылық тез төмендейді. Максималды рұқсат етілген энергияға 5-10 кДж/см аралығындағы ауқымда тез қол жеткізуге болады. Шамадан тыс қызуды болдырмау қажет. Бұл кеңес миллиметр қалыңдыққа шаққанда максимум 2 кДж/см термомеханикалық илемдеу арқылы алынған өнім үшін анықталуы мүмкін.

8.5. Қолданылған әдебиеттер тізімі

- [AKH 88] AKHTER R. et al., "Laser welding of zinc coated steel", Lasers in Manufacturing, Cotswold Press Ltd, UK, 1988.
- [BAB 99] BABBIT M., CANTINIEAUX P., "Les aciers HR et THR: offre, mise en oeuvre et performances", Symposium auto et carrosserie automobile, Cannes, 1999.
- [BOI 92] BOISSELIER D. et al., Le soudage laser de faibles et moyennes épaisseurs, Centre Technique des Industries Mécaniques, 1992.
- [BON 00] BONSS S. et al., Innovations in laser hybrid technology: the combination of CO₂- laser and high power diode laser, Section C-ICALEO, 2000.
- [BOS 92] BOSCH, Avantage du soudage en courant continu, Documentation commerciale, 1992.
- [COL 94] COLLECTIF, Le livre de l'acier, Techniques et documentation, Lavoisier, Paris, 1994.
- [DRO 93] DROUART C., Soudage par résistance, Publication du soudage et de ses applications (IS), 1993.
- [DUP 00] DUPUY T., FARDOUX D., "Spot welding zinc coated steels with medium frequency direct current", Sheet Metal Welding Conference IX, Detroit, October 2000.
- [ELI 89] ELIOT D., Le soudage par faisceau laser, Publication de la Soudure Autogène, 1989.
- [FER 97] FERRASSE S., VERRIER P., MEESEMAECKER F., "Resistance spot weldability of high strength steels for use in automotive industry", The IIW 50th Annual Assembly, San Francisco, Doc. no. III-1076-97, 1997.
- [GEY 93] GEYSEN M. et al., Tolérances en soudage laser de forte puissance, Institut de Soudure, 1993.
- [GRE 78] GREGORY E.N., Welding zinc-coated steels, Welding Institute Publication, 1978.
- [HON 00] HONGPING G., A New Method of Laser Lap Welding of Zinc-coated Sheet, Section C-ICALEO, 2000.

- [NOR 94] NORME FRANÇAISE A 87-001, Caractérisation de la soudabilité par résistance par points de produits plats revêtus ou non, December 1994.
- [PRA 88] PRANGE W. et al., "Utilisation de la soudure par laser des tôles fines", Revue de Métallurgie, 1988.
- [VER 99] VERRIER P., "Fabrication et utilisation des flans raboutés pour l'industrie automobile", Revue de Métallurgie, 1999.
- [WES 93] WESTGATE S., LEWIS C., "Current voltage waveform developed in typical AC/DC resistance welding power sources", Int. Inst. Weld., Doc. no. III-1022-93, 1993.
- [WES 93] WESTGATE S., LEWIS C., "Comparison between electrical efficiency of AC and DC power sources for spot welding zinc coated steels", Int. Inst. Weld., Doc. no. III-1020-93, 1993.
- [XIE 99] XIE J. et al., "Laser lap welding of galvanized steel with no gap", International Body Engineering Conference, September 1999.
- [XIE 99] XIE J. et al., Single-sided Laser Welding of Galvanized Steel, ,Cooperative Research Program EWI, 1999.

Болат металл компоненттерді дәнекерлеу

9.1 Кіріспе

Бұл бөлімде шанақ панелінен басқа, автомобиль өнеркәсібінен мысалдарды пайдалана отырып, болат механикалық компоненттерді дәнекерлеудің негізгі әдістерін сипаттау жүргізіледі және функционалдық қажеттіліктерге және жаппай өндіріске байланысты дәнекерлеудің нақты шектері талқыланады.

Бұл қажеттіліктерді анықтау үшін оларды болат құрылымдармен салыстыруға болады (10-бөлімді қараңыз). Соңғысы, атап айтқанда, жеке құрылымға немесе шектеулі жиынға жатады және қарапайым бекітуді және позициялау және аяқталған түр тұрғысынан салыстырмалы түрде өрескел қосылыстарды талап етеді. Дәл осы жағдайда дәнекерлеу, мысалы, кеме жасауға және т.б. арналған темір жол станциясының арқалықтары мен пластиналарын алмастырды. Бұдан басқа, серпімді деформацияның шекті мәндері үшін (мысалы, арқалықтың қисаю шегі үшін) ерекше геометриялық өлшемдер (серпінділік сәттері) қажет және, әдетте, бұл шектеулер ілінісу шекаралық аймақтарындағы беріктікті шектеуге дейін күшіне енеді.

Механикалық компоненттер үшін шаршау сипаттамаларының массалық үлеске қатынасы жиі бірінші дәрежелі мәнге ие және қоспаланған болат үшін ғана мүмкін болатын күрделі механикалық сипаттамаларды талап етеді және сондықтан дәнекерлеуге берілмейді.

Сонымен қоса, механикалық компоненттерде, әдетте, қызмет көрсетуде ерекше талаптар болады:

- геометриялық дәлдік: мысалы, тістегершіктің тістерін сипаттайтын көптеген параметрлер микрометрмен өлшенеді,

- үйкеліс беттерінің тозуға төзімділігі мен трибологиясы беттің өте талап етілетін жағдайын негіздейді: кедір-бұдырлығы, Герц қысымы, сыртқы жабындар, физикалық-химиялық төзімділігі,

- белгілі бір байланыс аймақтарында нүктелі коррозияның төзімділігі,

- шаршау сипаттамаларының әртүрлі түрлері: байланыс, кесу, коррозия және т. б.

Осы барлық себептер бойынша механикалық бөлшектер үшін пайдаланылатын болат 1000 МПа жоғары беріктілік деңгейіне дейін жиі өңделеді, ал тиісті құрама тораптар әдетте:

- олардың өзара орналасуы кезінде жоғары дәлдікпен дәнекерленуі тиіс,
- олардың механикалық қасиеттері сәл төмендеген, әсіресе жүктеме шектеулі аймақтарда,
- жылулық өңдеуге немесе қосымша өңдеу процестеріне ұшырауы жағдайында болуы қажет.

Өлбетте, бұл шарттар тиісті компоненттің түріне сәйкес модуляциялануы тиіс. Мысалы, автомобиль өнеркәсібінде дәнекерлеуге қойылатын талаптар аспа бөлшектері мен механикалық бөлшектер үшін әртүрлі.

Кергіштер мен аспа тораптары сияқты сыртқы бөлшектер әдетте құрамында көміртегінің-марганецтің (0,2% С, 1% Мп кем) аз үлесі бар аз легирленген болаттан, қандай да бір таза өндеусіз дайындалады. Бұл бөлшектер нүктелі дәнекерлеуге (жұқа табақтар үшін) немесе елеулі металлургиялық қиындықтарсыз дәнекерлеу жігінің көмегімен ұшырайды.

Бір жағынан, күш беретін агрегат немесе трансмиссия сияқты механикалық бөлшектер құрамы мен термоөңдеу пайдалану үшін қажетті қасиеттерге арнайы бейімделген болаттан жасалады. Мысалы, автоматты беріліс қораптарын өндіру кезінде үйкеліс аймақтарында жергілікті азотталған жұмсақ болаттар, сондай-ақ жартылай

индукциялық шыңдауға ұшыраған ірташа көміртекті болаттар (яғни ХС 42 класы), сондай-ақ неғұрлым қатты үйкеліс бөлшектер үшін неғұрлым легирленген азотталған болаттар жиі пайдаланылады. Тістеуіштердің негізінде иілу және бұзылу сипаттамаларына қатысты, оларды 27 Mn Cr 5 немесе 30 Cr Mo 4 сияқты өте ұсақ карбонитритті және болат қорытпалардың көмегімен орындауға болады, қазіргі автомеханикалық талаптар үшін, жүк автокөліктерінің тісті біліктері үшін терең термохимиялық өңдеу және жоғары қоспаланған болат қажет. Әдетте, 100 Cr 6 символдық марканың салмақ түсетін элементтері, ең болмағанда қандай да бір дәнекерлеу мүмкіндігінсіз дайындалады!

Пайдаланушылық дәнекерленуді бағалау өлшемдері қарастырылатын компоненттерге, атап айтқанда, балқытылған жіктер аймағының мүмкін болатын ұзындығына байланысты. Бұл аймақта тән материал немесе бірнеше өту жолдары талап етілетіндіктен және ол салыстырмалы түрде үлкен болып қала береді (болат құрылымы үшін ұсынылған тәртіппен), алдыңғы тарауларда баяндалған өте шектеулі металлургиялық және механикалық пайымдаулардың (көміртегінің эквиваленті, қысылуын шектеу, сутегі және т.б.) көпшілігі күшінде қалады. Екінші жағынан, қайта балқыту аймағына (жоғары энергия шоғыры) қарағанда, кейбір түйіспелі қосылыстарда (үйкеліс дәнекерлеу, кедергімен түйіспелі дәнекерлеу немесе қатты фазада диффузиялық дәнекерлеу) толық азайтылуы мүмкін рұқсат етілген шектер қатаң талап етіледі.

Бұл презентацияда доғалық дәнекерлеу шарттарын қоспаланған болаттарға [CAZ] және дәнекерленген қосылыс металлургиясына [AWS, GRA] бейімдеу қысқа баяндалады. Біз механикалық компоненттерді жаппай өндіру үшін дәнекерлеу жұмыстарында пайдаланылатын шектеулі балқыту процестерінің мүмкіндіктеріне назар аударамыз. Механикалық құрылыстағы жаппай өндіріс талаптары үшін конвейерлік құрастыру желісінде цикл уақыты мен бақылау рәсімдеріне сәйкес келетін роботталған дәнекерлеу процестері қажет екенін көрсетеміз.

Бұл тараудыкелесі технологиялық мәселелер жалғастырады:

- қосылыстардың ерекшелігіне қойылатын талаптар, пайдалану стандарттары және механикалық компоненттерде пайдаланылатын қоспаланған болаттардың дәнекерленуіне қойылатын талаптар;
- механикалық компоненттер үшін қолданылатын дәнекерлеу процестерінің негізгі түрлері және автомобиль техникасындағы осы процестердің мысалдары;
- осы бөлшектердің дәнекерленген жіктерінің сипаттамасы және сапасын бақылау;
- механикалық компоненттерді дәнекерлеу саласындағы әзірлемелер мен үрдістер.

9.2. Механикалық компоненттердегі дәнекерлеу қосылыстарының ерекшеліктері

9.2.1. Стандартты дәнекерлеу процестері және жалпы ұсынымдар

Шанақтың панельдерінде жұмсақ жұқа табақты болатты құрастыру кезінде нүктелі дәнекерлеу әдетте алынады, себебі болат табактарды басып алу және нүктелі дәнекерлеуді роботтандыру бірінші күні жалпыға танылған өнімділікпен және пайдалану жеңілдігімен жұмыс істейді.

Механикалық компоненттерге келетін болсақ, бұрын жұмыс бетін аз қосалқы бөлшектермен жалғаған, құрастыруда қарапайым немесе азырақ қарапайым өңдеу тәжірибесі сирек дәнекерлеуді ұсынды.

Дегенмен де, бұл бөлшектерді әзірлеу диапазоны орындаудың және құнның көптеген шарттарына (механикалық өңдеудің, құрастырудың, әзірлеудің және т.б. қарапайымдылығына) байланысты, бұл кезде дәнекерлеу мүмкіндігі басқа қосылыстар

тәсілдерімен салыстырғанда әрдайым шешуші болып табылмайды.

Бастапқыда металды термиялық немесе механикалық қажадан бөлек, сондай-ақ адгезиялық байланыстыру, бекіту, бұдырлармен біріктіру немесе қосымша нүктелі дәнекерлеу сияқты қосымша қорғаныс көмекші құралдармен жеткілікті болуы мүмкін. Қосымша термохимиялық өңдеуді қажет ететін бөлшектердің бетін тегістеу немесе қайрау керек, ал қалдық кернеуі бар аймақтарда баяу бұзылуды күтуге болады.

Кейбір басқа жағдайларда бұрандамалар немесе бұрандалар арқылы дәстүрлі құрастыру дайын компоненттердің қасиеттерін өзгертпей, нақты қосылысты қамтамасыз етеді. Осылайша, өңдеу мен құрастыруға шектеулі қосымша шығындар кезінде қосымша "бөлшектеу мүмкіндігі" қамтамасыз етіледі.

Одан әрі бөлшектеу, техникалық қызмет көрсету немесе ауыстыру қажетінсіз дәнекерлеу рәсімі жиналатын бөлшектер ракурсында тартымды болуы мүмкін. Дәнекерлеу процесіне келетін болсақ, ол цикл уақытын, жинау үшін кеңістікті немесе персоналды және өндірістік шығындарды үнемдеуге мүмкіндік береді, әсіресе, егер ол позициялауды, дәнекерлеуді және көп жағдайда бір минут ішінде кернеуді алу процесін үйлестіретін роботталған көп қабатты механикалық құрылғыларда орындалса. Бұл әдіс болатты біліктер немесе аз қоспаланған жиектер өте жеңіл болаттан жасалған муфтаның корпустарына өлшемдері үшін ең аз кедергілермен берік жалғануы тиіс автоматты беріліс қорабы сияқты компоненттерді құрастыру кезінде кеңінен қолданылады.

Екінші жағынан, суық жарылу нәтижесінде бастапқы зақымдану тәуекелдері балқытылған металдың көміртекті эквиваленті (компоненттік материалдың құрамы мен ықтимал қосымша материалдың құрамына байланысты) 0,47% [AWS, GRA 95] асқанда доғалы дәнекерлеудің әртүрлі түрлерінде елеулі болып қалады, ал негізгі металды таңдау өзгеруі мүмкін емес. Бейімделген алдын ала қыздыру, содан кейін пост-термиялық өңдеу жинақталған бөлшектердің геометриялық және термиялық көрсеткіштеріне сәйкес қажет болуы мүмкін. Егер алынған конструкция шамадан тыс жүктемелерге ұшырамаса немесе статикалық және динамикалық жүктемені тарату үшін дәнекерленген беттің ауданы жеткілікті үлкен болса (дайындалған жиектерді қосу мүмкін), дәнекерленген қолайлы нұсқа болуы мүмкін.

Бөлшектің жақсы құрылымы дәнекерленген жіктерге ұшырайтын жүктемені шектеуге немесе құрастырудың нақты конфигурациясының функционалдық салдарын азайтуға ықпал етуі мүмкін. Демек, дәл позициялау бар лазерлік сәулемен дәнекерлеу қанағаттанарлық болуы мүмкін, себебі, кері жағдайда, жиналған бөлшекте шамадан тыс күрделі немесе қатты жүктелген геометриялық конфигурация болады.

Биметалл клапандары сияқты кейбір осесимметриялық бөлшектер үшін, кейіннен білікшені өңдеу арқылы үйкеліс жылдамдығы жоғары дәнекерлеу, бірақ жиі қандай да бір кейінгі өңдеусіз бөлшектер материалына жұмсалатын шығындарды үнемдеуді толығымен ақтайды.

Соңында, жоғары жүктемемен бөлшектердің көпшілігі үшін дәнекерлеуден кейін механикалық қасиеттерді өзгерту проблема болып табылмайды, өйткені болашақта пайдалану үшін талап етілетін қасиеттерге жету үшін қажетті термиялық өңдеу әдетте дәнекерлеуден кейін жүргізіледі. Дегенмен, шаршау немесе соққы әсерінен білікшенің жол берілмейтін ақауларын болдырмау қажет: [LIE 82, DER 8 1] дәнекерлеу жігінің жоғарғы жағында кеуектілік пен кесінділер.

Кез келген дәнекерлеу операциялары үшін кейбір технологиялық ұсыныстар қажет:

- жікті бөлу түрінде екі жағынан массаны теңдестіру және дәнекерленген жікке жақын кез келген әлсіз аймақтан (шағын аумақ, өткір бұрыш) аулақ болу қажет;

- осьтік дәнекерленген жік, егер ол қысылмаған болса, ең аз бөлікте раструбпен жұмсалып үрдісі бар, ал радиалды дәнекерлеу тесілген қатаюды көздейді. Бөлшектер арасындағы саңылаудың орнына бір бөлікті екіншісіне қою бұл ақауларды азайтады;

- радиалды дәнекерленген жіктер күрделі материал немесе деформация жағдайында осьтік дәнекерленген жіктен жақсырақ;

- өңдеуге арналған рұқсаттарға сәйкес орнатылған жалғанатын жазықтықтағы рұқсат етілген саңылау, позициялық саңылау және жалғанатын беттердің осіне қатысты перпендикулярлығы 0,10 мм-ге дейін шектелуі тиіс;

– жанасқан жиектер бетінің тазалығы 10 мкм шектелген, және осы беттерде, әдетте, қылқан жапырақтары тыйым салынған;

- тоттың және майдың кез келген іздерін алып тастау, сондай-ақ жуғаннан кейін бөлшектерді кептіру қажет.

Қосылысқа қатысты бұл сарқылмайтын ұсынымдар тәжірибеге негізделген және қосылыстардың беріктігіне әсер ететін металлургиялық факторларға байланысты емес.

9.2.2. Балқыма аймағындағы және термиялық әсер ету аймағындағы металлургиялық ақаулар

Дәнекерленген жіктердегі түрлі ықтимал ақауларды екі негізгі санатқа жіктеуге болады:

- геометриялық келісумен немесе жеткіліксіз қорытумен байланысты ақаулар сияқты технологиялық ақаулар,

- бөгде қосылыстар, кеуектілік, жарықтар сияқты металлургиялық ақаулар.

Шын мәнінде, дәнекерлеу жігінің металлургиялық жағдайы, ең алдымен, технологиялық параметрлерді жақсы таңдауға байланысты: геометрия және қосылыстарды дайындау, дәнекерлеу режимі, желілік энергия қуаты және дәнекерлеу жылдамдығы, алдын ала және кейінгі қыздыру параметрлері. Балқытылған аймақ және термиялық әсер ету аймағы олардың ішкі жарықтарға сезімталдығына байланысты, микроқұрылымдарға және қолайсыз қалдық кернеулерге сәйкес келмейтін сыни аймақтар болып табылады.

Сонымен қатар, ақаулар қосылыстың көлденең қимасын азайтып, күтпеген жүктемелер кезінде жергілікті қирауға әкелуі мүмкін кернеулердің шоғырлануына әкелуі мүмкін.

9.2.2.1. Балқыту аймағындағы ақаулар

Дәнекерлегеннен кейін балқыма аймағындағы ең типтік ақаулар:

- қату кезінде ұстап алынған немесе сұйық металдағы химиялық реакциялар нәтижесінде пайда болатын ерітілген газдардан болатын кеуектілік;

- жікті балқытудың немесе екі дәйекті білікше арасында болмауы;

- ажыратуға беріктігі жоғары (уақытша немесе тұрақты) кернеулі аймақтарда, сезімтал бөлшектерде ыстық немесе суық жару.

Берілген кернеуге қалдық кернеу өрісін салу ақаулы дәнекерленген қосылыстың жұмыс жүктемесін одан да көп төмендетуі мүмкін.

Болатты балқытудың шарттары (қышқылдану, сульфидтер, қалдық азоттың құрамы) кеуектілік және түйіршіктердің формасына (балқытылған металдың суланатын қабілетіне) әсер етуі мүмкін, бірақ басты мәселе жұмыс параметрлерін дұрыс емес таңдауға байланысты жарылу қаупімен байланысты.

Ерекше металдың өте жоғары құрамы бар және қайта балқытылатын доғалы дәнекерлеу геометриялық ақауларға (өткір бұрыштық қосылыстар, енудің болмауы), металлургиялық ақауларға (жарықтарға) немесе күшейтілген жасырын ақауларға (ірі қосылыстардағы жарықтар) әкелуі мүмкін.

Геометриялық ақаулар негізінен дәнекерленетін беттердің орналасуына және пайдалану тәжірибесіне қатысты. Дәнекерленген жіктің тереңдігі, атап айтқанда, лазерлік типті жоғары тығыздықтағы энергетикалық байламдармен дәнекерлеу үшін проблема болуы мүмкін, бұл кезде номиналдық қуаты 10 кВт дейінгі болаттан асу қиын.

Дегенмен, сериялық өндірілетін механикалық компоненттердің әдетте шектеулі

өлшемдері бар және автоматтандырылған дәнекерлеу аралықтарын дәл дайындауды қажет етеді, олар осыған байланысты қайталамалы болып келеді.

9.2.2.2. Түрлі жарылу түрлері

Металлургиялық жарылу тәуекелдерінің бірі ретінде балқытылған металдың нақты құрамдарымен (мысалы, өңделуін жақсарту үшін күкірттің немесе қорғасынның құрамы 0,025%-дан жоғары) байланысты және дәнекерленген жіктің нашар конфигурациясына байланысты нашарлаған ыстық жарылу туындауы мүмкін. Өтпелі бағыттағы деформацияланудың нашар деңгейіне байланысты бойлық жарықтардың пайда болуымен жарылу тексеру сынақтарының тұтас қатарынан кейін біртіндеп Мұқият дәнекерленген механикалық компоненттер үшін ерекше болып қалады.

Қатты шындалған құрылымдармен, қалдық тартумен және сутегінің іздерімен байланысты термиялық әсер ету аймағында суық жарылу Болат құрылымдарда балқытудың үлкен аймақтарында дәнекерлеу үшін едәуір кедергі болып қалатыны анық.

Қосындыланған болаттарға келетін болсақ, жарықтар ең жиі металлургиялық ақаулар болып табылады: балқытылған аймақта ыстық жарылу, ТӨА-да суық жарылу, қайтадан қыздыру кезінде жарылу:

- *Ыстық жарықтардың пайда болуы:* әсіресе аустенитті қатаюмен болаттарға қатысты. Ол солидустың тиісті төмендеуімен күкірт пен фосфордың басылуы нәтижесінде орын алады. Білікше қатаю соңындағы кернеулер сұйықтық аймағының соңғы орналасқан жерінде үзілуді тудыруы мүмкін. Бұл $S+P < 0,04\%$ типті балқытумен дәнекерленген металдардағы тапшы элементтердің құрамын шектеуді ақтайды.

- *Суық жарықтардың пайда болуы:* сутегі суландыру шарттары (қалдық керілу) термиялық әсер ету аймағында да, балқытылған металда да анықталады, өйткені соңғысы термиялық әсер ету аймағына қарағанда сұйылтылған құраммен де сутегімен байытылған. Дәнекерленген болаттың сезімталдығын бағалауды көміртегінің пайыздық құрамы үшін өртүрлі дәстүрлі формулалардан шығаруға болады, $Ce = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Cu + Ni)/15$ және т.б. [DEB 84]. Формуланың осы түрінде ескерілмейтін тазалықтың елеулі әсері дәнекерлеу қиын болған жағдайда қоспалардың төмен құрамы туралы ұсынымды қарастырады (S, P, Sn, As, Sb). Күкірт үшін, сондай-ақ сульфидтің құрамын және оның морфологиясын бір мезгілде бақылауды талап ететін бойлық жарықтардың пайда болу қаупі бар (талшық арқылы мойынның пайда болуы); мысалы, автомобильдердің механикалық компоненттеріндегі күкірт мөлшері 0,025% шектелген.

- *Қайтадан қыздыру кезіндегі жарылу:* бұл туралы кейде қысымдағы ыдыстарға және нашар төзімді тот баспайтын болаттарға арналған төмен қоспаланған болат мысалында хабарланады. Бұл карбид пен қоспалардың шөгуінен кейінгі қыздыру кезінде пайда болуы мүмкін кристаллитаралық жарықтардың пайда болу мысалы.

Жарықтардың пайда болу қаупінен басқа, дәнекерленген болаттың талап етілетін пайдалану қасиеттері дәнекерлеу аймағына жеке талаптар қоя алады: ыстық цехтердің жұмыс жағдайларында қысымдағы аппараттың сырғымасының кедергісі, белгілі бір жағдайларда шаршау беріктігі, кернеудегі коррозияның өртүрлі түрлеріне тұрақтылық және т.б. дәнекерлеу циклы кезінде ТӨА-да саңылаулы хром карбидінің шөгуі, мысалы, таттанбайтын болаттың созылу кезіндегі коррозиялық жүріс-тұрысын бұзуы мүмкін.

Ақырында, өңделген аймақта дәнекерлеу қатты қалдық кернеулердің (мысалы, шындалған бөлшектерде) немесе қоспаланған металдардың қауіпті қоспасынан (термохимиялық өңделген бөлшектерден) орын алуына байланысты жарылуына әкелуі мүмкін. Соңғы жағдайда термохимиялық өңдеу немесе кейіннен механикалық өңдеу (тегістеу) нәтижесінде дәнекерленетін аймақты айналып өту жақсы болар еді.

9.2.3. Қайта балқытумен және онсыз дәнекерлеу кезінде дәнекерленуге рұқсат беру

Дәнекерлеу кезіндегі металлургиялық қиындықтар ерекше термоциклдері бар

дәнекерленген металдардың құрылымдық реакцияларының нәтижесінде пайда болады.

9.2.3.1. Күшті балқытудың негізгі салдары

Қайта балқыту жағдайында, қату кезінде шөгу бастапқыда балқытылған аймақта, металдың қату интервалына және одан да көп дәнекерленген металдың қоспасына және қоспаға байланысты жүргізіледі. Балқыма аймағының көлемі, шөгу дәрежесі және салқындату кезіндегі металдың реологиялық қасиеттері дәнекерлеу аймағындағы қалдық кернеулердің таралуын анықтайды.

Әдетте, термомеханикалық дәнекерлеу әсерлері (балқытылған аймақта қату кезіндегі шөгу, аллотропиялық өзгерулер кезіндегі кеңейту және деформация, қалдық кернеулердің созылуы) дәнекерлеу режиміне, қосу геометриясына және металдың жүріс-тұрысының металлургиялық сипатына байланысты.

Бұл мінез-құлық әртүрлі термиялық өңдеулердің көптігі салдарынан қоспаланған болаттар үшін өзгереді: қатты ерітіндіге өңдеу, салқындату кезінде түрлендіру және кристалдау кинетикасы, кейіннен қыздыру кезінде тұндыру.

Мұндай мінез-құлықты болжау үшін фазалық диаграммаларды (мысалы, тоттанбайтын болаттарға арналған Шеффлер диаграммалары) және термиялық әсер ету аймағында басым болатын аустенизацияның арнайы жағдайларынан кейін үздіксіз суыту кезіндегі айналу диаграммаларын (карбидтің ерекше ерігіштігі және металл дәнінің көлемі кезінде) енгізу қажет. Бұл әсерлер, ішкі беріктікке және дәнекерлеу жіктерінің пайдалану қасиеттеріне үлкен әсер етеді, өте күрделі бағдарламалық модельдеудің мәні болды (жақсы белгілі мысал-SYSWELD). Көп жағдайда дәнекерлеудің әрбір түрі және қосылудың геометриялық конфигурациясы бойынша жылу мәліметтерінің диаграммаларына жүгіну қажет, олар ТӘА ең қиын нүктелерінде циклдарды визуализациялауға мүмкіндік береді (3-бөлімді қараңыз). Болатты түрлендірудің тиісті диаграммаларын қарап, құрылымдар мен олардың қасиеттерінің эволюциясын оңай болжауға болады.

Білікшелерде ақаулардың пайда болу ықтималдығын, сутекті топтау, ҚТВ-да дәрекі күкіртті мартенситтің таралуы мен қауіптілігін, қалдық кернеулердің зақымдануын және т. б. азайту мақсатында балқу аймағының кеңеюін барынша азайту өте пайдалы. Осы көзқарас негізінде жылу көзінің қуатын арттыру тиімді, өйткені ол температуралық градиенттерді (Фурье Заңы) арттырады. Соңғы жағдайда, қайта балқытусыз үйкеліс арқылы дәнекерлер, қосымша қыздырусыз, бір бөлігі z 45 Cr Si 9 маркалы мартенситті тот баспайтын болаттан жасалған биметалл клапандарсыз біріктіруге мүмкіндік береді.

Қайта балқытуды және сутегінің гемобайланысының қауіп-қатерін болдырмау қиын болса да (тек бір р/м тек біреуі тым көп), өрескел аймақты қайта қалпына келтіруден туындаған теңгерімсіз құрылымдардың сынуы проблема болып қалады.

Механикалық бөлшектерде пайдаланылатын болаттардың салыстырмалы жоғары қыздырылуын назарға ала отырып, дәнекерлеу соңында салқындатуды баяулату қиын және осылайша, қаттылығы, сынғыштығы және сутегі іздеріне сезімталдығы көміртегінің оқшауландырылған құрамымен ұлғаятын мартенситті құрылымдарды болдырмау қиын. Жоғары көміртегі немесе кейбір аустено-мартенситті агрегаттары бар кейбір бейнелердің сынғыштығы да проблемалық болуы мүмкін (15 Cr Mo V6 маркалы болаттың үлгісін қараңыз).

9.2.3.2. Термиялық әсер ету аймағының сынғыштығын жою

Дәнекерлеуден кейін термоөңдеумен босату дербес жолмен жиі оңтайландырылатын екі ерекше функцияға ие: қалдық кернеулерді алу және/немесе шыңдалған металлургиялық құрылымдардан сынғыштықты төмендету.

Болаттың құрамы сутегіне аз сезімтал микроқұрылымды құрудың кез келген мүмкіндігін алып тастағаннан кейін, балқыту параметрлерін пайдалану кезінде алдын ала қыздыру жолымен сутегінің зияндылығын азайту немесе кейіннен қыздыру жолымен дәнекерлеу аймағынан осы газдың диффузиясын жеделдету қажет (әдетте, алдын ала қыздыру температурасына қарағанда неғұрлым жоғары температурамен).

Алдын ала қыздыру дәнекерлеуден кейін салқындату жылдамдығын азайтудың

негізгі әсері болады және суыту кезінде сутегі десорбциясының уақытын арттыру, ал кейіннен қыздыру тек соңғы функцияны орындайды. "Температура-уақыт" тәуелділік циклы қыздыру кезінде имплантациялайтын қоспаларға сынау нәтижелері бойынша анықталған жарықтың қисығы ретінде анықталады және берілген дәнекерлеу режимі мен материалдар құрамы үшін қыздыру температурасының сыни ұғымына әкеледі.

Көп жүрісті дәнекерлеу кезінде қыздырудан кейінгі сыни температура, сондай-ақ ең төменгі температураға сәйкес келеді.

Дәнекерленген бөлшектердің, әсіресе көміртегінің жоғары құрамымен суық жарылуын болдырмау үшін, кейде аустенитті присадкалы металды (жиі аустенитті тот баспайтын болат) пайдалануға болады: егер сұйылту бөлме температурасына дейін салқындатылғаннан кейін аустенитті құрылымды сақтауға мүмкіндік берсе, ол сынғыш жаруға бейім емес, және, демек, суық жаруға бейім емес. Сонымен қатар, сутегі аустенитпен салыстырмалы түрде ериді, бұл оның балқыма аймағында ұстап қалуға және ТӨА-да жарықтардың пайда болуына жол бермеуге ықпал етеді. Алайда, мартенситті ТӨА сынғыштығын және балқытылған металдың төменгі механикалық сипаттамаларын қабылдау қажет.

Тот баспайтын болаттан жасалған компоненттерге келетін болсақ, кейбір сорттарды (мысалы: шығарушы құбыр) дәнекерлеу үшін олардың құрамына көңіл бөлу қажет, мысалы, титан немесе ниобийді тұрақтандыратын өңдеу - өте тұрақты карбидте шикізат өндірісінің өзінен көміртекті ұстап қалу, астық ірілігін бақылауға ықпал ете отырып, хромның шөгуін және тат баспайтын қасиеттердің жоғалуын болдырмайды. Тот баспайтын болат + төмен қоспаланған болат сияқты біртектес құрама құрылымдарды дәнекерлеу кейбір сақтық шараларын талап етеді [FAB 83]: балқытылған металға қатысты сақтық шараларын, сұйылту және пайдалану кезінде микроқұрылымның тұрақсыздығынан кейін балқытылған аймақтың біртектілігін талап етеді. Аустенитті болат кезінде жеткізу кезінде өңдеуге жақын жағдайларда гипер-салқындату, бір мезгілде кернеуді сынамайтын ұсақ түйіршікті және тот баспайтын металға қол жеткізуге мүмкіндік береді.

9.2.3.3. Қайта балқытусыз дәнекерлеу

Осы дәнекерлеу процесінен келесі сипаттамаларды күту қажет:

- сұйық және қатты фаза арасындағы газдардың (H, N, O) ерігіштігі айырмашылығымен байланысты кеуектілік, шөгінді қопсыту немесе газ десорбциясы ақауларының болмауы,

- шөгінді кернеуден аз,

- ірі және нәзік құрылымдар.

Екінші жағынан, геометриялық теңестіру және дәнекерленетін беттерді тығыз байланыста келтіру мәселелері өте өткір болып табылады және беттің жақсы дайындығын, сондай-ақ беттік керілудің минималды жұмысын талап етеді [HOU 91].

Диффузионды-дәнекерленген қосылыстарды минуттік құру барысында беткі керілу жұмыстарынан кейін қайта кристалдандыру механизмдері бөлімнің бастапқы шекарасын жоюға көмектеседі, бірақ микрометриялық масштабта. Бұдан басқа, темірдің аустениттік жағдайында бір секунд ішінде еркін диффузияның орташа ұзындығы 1400°C кезінде бір микрометрді ғана құрайды, сондықтан бөлімнің алдыңғы шегін кесіп өтетін өлшенген шекаралардың микрографиялық бақылаулары қоспаларда бекітілген межеленген шекаралармен гетерогенді аустениттің қайта кристалдануына байланысты.

Шағылыстыратын эхо бөлімше карасындата была алмайтындықтан, ультрадыбыстық зерттеу болаттағы толқын ұзындығы 10 микрометрде жүргізілсе, теориялық тұрғыдан осы беттегі микрометриялық ақаулардың жоқтығына кепілдік беруі мүмкін. Бұл масштабта қоспаларға сәйкес келетін эхо сигналдары да пайда болады.

9.3. Механикалық компоненттерді дәнекерлеудің негізгі түрлері

Әр түрлі жылу көздері дециметрлік компоненттерден бір минут ішінде берік қосылыстарды алу үшін практикалық құралдарды ұсынады.

Ең дәстүрлі-*электрлік дәнекерлеу доғасы*. Балқыту механикалық өңделген жікті біріктіруге және толтыруға ықпал етеді. Балқытылған металдың көлемі сыртқы салым есебінен ұлғайтылуы мүмкін: электродтармен доғалы дәнекерлеу, MIG (металдың инертті газы) немесе TIG (вольфрамның инертті газы) дәнекерлеу. Балқытылған негізгі металдың бұл үлесі кейде электронды-сәулелі дәнекерлеу сияқты мүмкін емес. Алайда, оны балқытылмаған негізгі металдан төмен балқу температурасы металл жабынын пайдалана отырып орындауға болады.

Баяу балқытын дәнекермен дәнекерленген жағдайда суландыру процесі үстіңгі қабаттың жалғануын және сабақтастығын қамтамасыз етеді, ал дәнекерлеумен дәнекерленген кезде кең қосылыс жапсырма металмен толтырылады. Біз осы екі соңғы әдісті осы тарауда өте қысқа қарастырамыз.

Екі таза металл беті бар қатты дененің өте тығыз байланысы, сондай-ақ бекітілу мен сабақтастықты қамтамасыз ете алады: мұндай жақын сәйкестік механикалық қысым астындағы пластикалық деформацияның және өзара диффузия мен бөлім бетінің рекристалдануын қолдайтын температураның жоғарылауының нәтижесі болуы мүмкін (*үйкеліс арқылы дәнекерлеу, кедергімен дәнекерлеу*).

Кейде ұшатын балқытылған фаза пайда болады, бірақ ол тез жойылады (*ұшқынмен дәнекерленген жағдайда*).

Ақырында, үйкеліс арқылы дәнекерлеу *жарылыс немесе ультрадыбысты дәнекерлеу* секілді балқытуға негізделеді.

Осы түрлі процестердің жиі жіктелуі энергияны беру сапасына және жоғары температураға дейін қыздырылған металды қорғау режиміне (шлак, инертті газ немесе вакуум) байланысты. Дегенмен, біздің презентацияда қолданылатын желілік қуаттарды азайту тәртібі немесе одан да жақсы, балқытылған аймақтың салыстырмалы мөлшері қабылданады. Әр түрлі механикалық компоненттерді дәнекерлеуге нақты енгізу үшін келесі тәртіп қолданылады:

- электр доғалы дәнекерлеу және оның туындылары,
- тар жоғары энергетикалық байламдармен (лазермен, электрондық сәулемен, плазмамен) дәнекерлеу,
- үйкеліспен дәнекерлеу (балқытылған облыстар шектеулі енумен қатты фазада),
- Джоуль әсері бойынша түйіс жік (жүгірткі бар және айтарлықтай қорытпасыз),
- қатты фазада диффузды дәнекерлеу (өнеркәсіптік ауқымда емес).

9.3.1. Электр доғалы дәнекерлеу және баламалары [CAZ 95, COL 83]

9.3.1.1. Әр түрлі санаттар

Дәнекерленген жіктің ең ескі түрлерінің бірі-тәжірибелі үлгілер немесе шектеулі мөлшердегі бөлшектермен шағын сериялар үшін қолданылатын жабық электродпен қолмен дәнекерлеу. Тән материал оңай балқытын металдан тұрады, ол балқыту кезінде балқытылған металл мен қорғағыш қождың таралуына ықпал етеді. Бұл технология автомобиль өнеркәсібіндегі жаппай өндірістің автоматтандырылған дәнекерленген жіктермен үйлеспейді.

Ұнтақты флюстегі флюс астындағы доғалық дәнекерлеу процесі қазандарды немесе басқа да механикаландырылған дәнекерлеуді өндіру кезінде елеулі қалыңдықты дәнекерлеу үшін тек автоматтандырылған рәсімдерде пайдаланылады.

Катушкадан шығындалатын сым түріндегі электроды және газдан қорғанысы бар MIG/MAG процестері икемділік пен өнімділік тұрғысынан пайдалы [BOU 89]. Қиын балқытын вольфрам электроды және инертті газдан қорғанысы бар TIG процесі, ең алдымен, балқыма

аймағының жақсы соңғы тазалығы бар тот баспайтын болат үшін қолданылады.

Құрылымдық болаттарды дәнекерлеуге келетін болсақ, дәнекерлеу параметрлері (баламалы энергия, жылдамдық, алдын ала қыздыру мүмкін болатын температура) 3-бөлімде ұсынылған типті деректер диаграммасының көмегімен реттеледі.

Аспалы бөліктер немесе қозғалтқыштың дөңгелектерге айналдыру сәті сияқты қауіпсіздікті қамтамасыз ету элементтері үшін дәнекерленген жіктер кесіктің әсерін болдырмау үшін әрқашан тегістеледі. Кейінге қалдырылған бас тарту тәуекелін жою мақсатында қалдық кернеуді алу үшін шағын босату орындалады, ал бөлшектердің әрбір сериясы сынамаларды іріктеу жолымен металлургиялық жолмен тексеріледі. Бөлшектің мұндай түрі үшін өндірістік желіде бұзылмайтын әртүрлі сынақтар жүйелі болып табылады: ақауларды анықтау үшін - магнитоскопия, сондай-ақ негізгі кеуектікті анықтау үшін - рентгенографиялық немесе ультрадыбыстық тексеру. Автомобильдерді сериялық өндіру кезінде бақылау құралдары осы компоненттер диапазоны үшін біліктіліксынағы кезінде ерекше әрекет етеді (9.4-тарауды қараңыз).

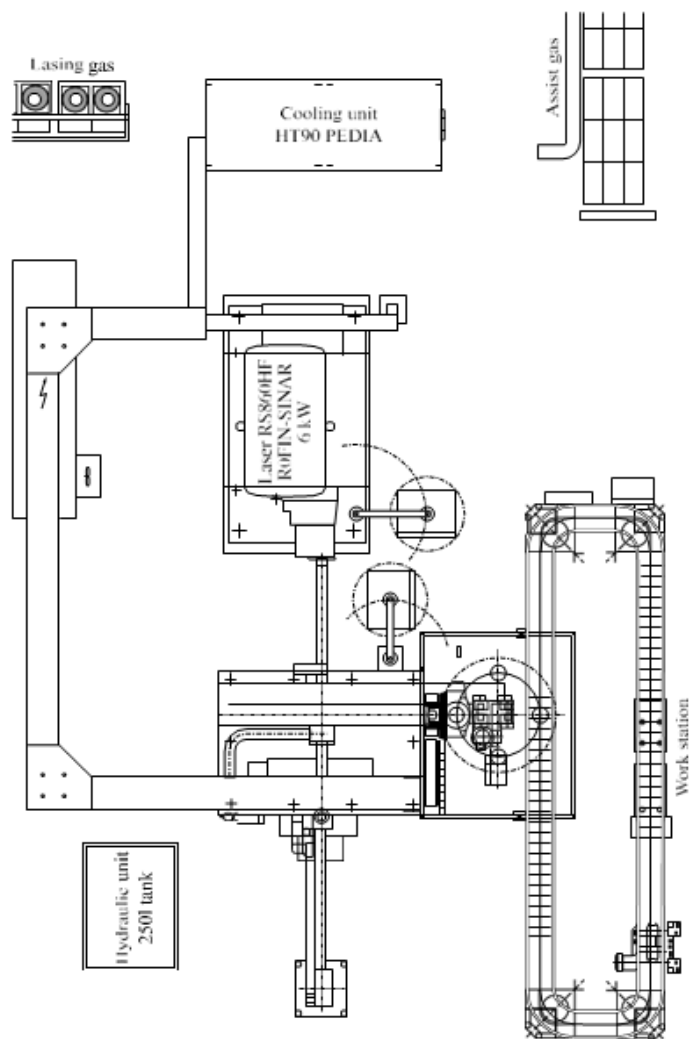
Жіктің жоғарғы білігін аяқтау үшін, дәнекерленген жіктерде алдын ала кернеуді жасау кезінде жиі тозған сызаттар пайда болуы мүмкін аймақты қысу үшін металл бөлшектермен үрлеу жүргізіледі. Тот баспайтын дәнекерленген жіктерді майсыздандыру және таттан тазарту процедуралары бөлшектердің коррозиялық сипаттамаларын қалыпқа келтіруге мүмкіндік береді.



Сурет 9.1. *Доғалы дәнекерленген кардан білігін және CV корпусын (алдыңғы дөңгелегі) шолу*

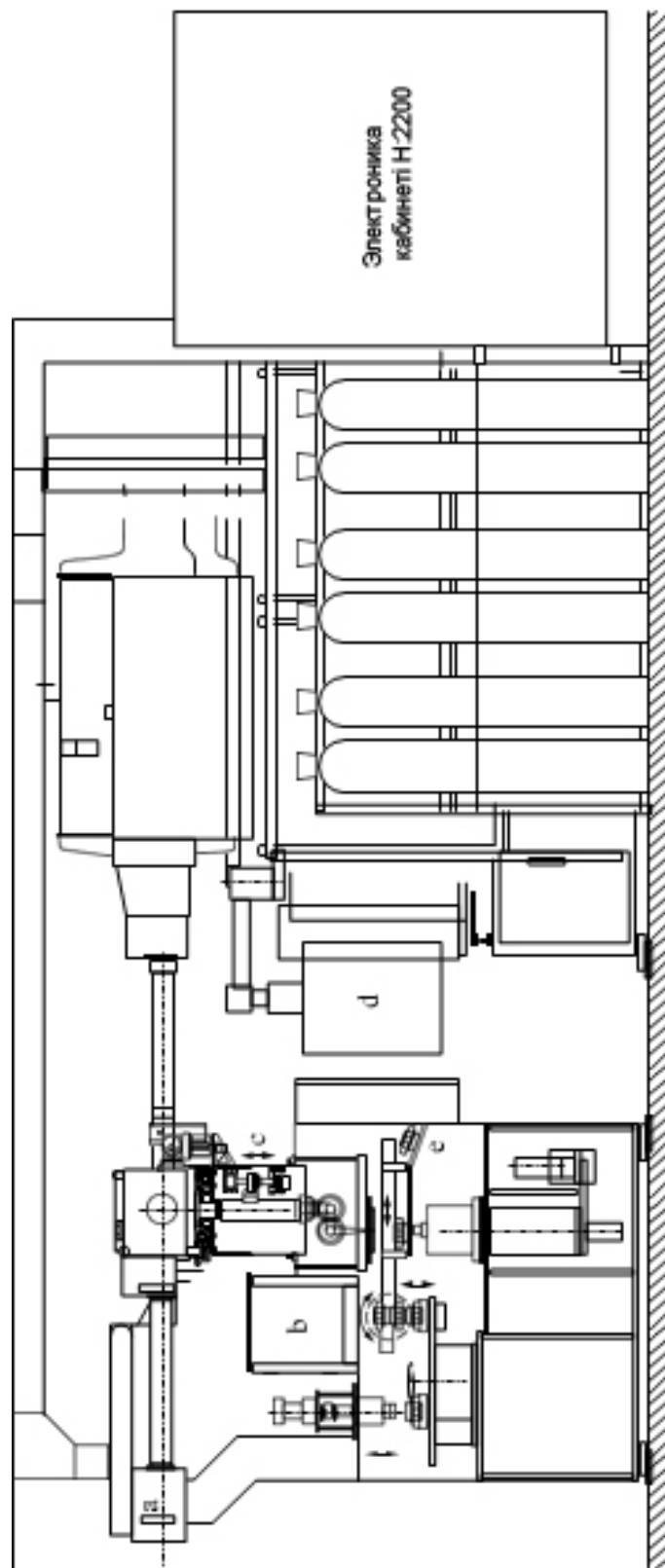
9.3.1.2. Мысал: Жетекті білікті және корпусты доғалы дәнекерлеу

Жетекші шпиндель және корпус (9.1 суретті қараңыз) жартылай осьтің қозғалуына әкелетін жартылай осьтің рөлін орындайтын топсалы қосылыстың сыртқы компоненті болып табылады.



Сурет 9.2а. Автомобиль өнеркәсібінде өндіріс үшін лазерлік қондырғы жобасы
Электроника кабинеті Н:2200

- а) мақсатты белгілеу; б) ауа кептіргіш; в) сандық ось; г) лазерді басқару пульті;
д) компонентті шығару



Сурет 9.2b. Автомобиль өнеркәсібінде өндіріс үшін лазерлік қондырғы жобасы

CV корпусы шөгіндіде (HES 400) қатырылған төмен көміртекті болаттан жасалған, ХС 42 тісті білік, кейінірек шлицтер мен мойынтіректердің тірек беттерін индукциялық беріктендіруге мүмкіндік береді.

Біліктің CV корпусына доғалық дәнекерлеу бұрылыс үстелімен және корпустар мен біліктерді автоматты түрде тиеумен станокта жүзеге асырылады. Дәнекерлеу екі станцияда орындалады: тік, токарлық патронда, катушқадан жеткізілетін қосымша сыммен; және 3 бар

қысымымен берілетін қорғаныш газбен (92% аргон + 8% CO).

Дәнекерлегеннен кейін қылшықтарды жою үшін корпусты ішкі тазалау жүргізіледі, содан кейін табиғи салқындатуға арналған бөлшектер алынады. Диаметрі 1 мм 2 мкм жабыны бар жапсырма сым (GS2) 15 м/мин жылдамдықпен дәнекерлеу кезінде тарайды, ал цилиндрлік қысқыш патронның жылдамдығы 0,8 м/мин құрайды. Уақытша цикл 0,26 млн. құрайды, бұл 12 000 бірлік тәуліктік өндіріске сәйкес келеді. "Жаңа" дәнекерлеу, сондай-ақ индукциялық қыздырумен өңделген корпустың негізі нақты уақыт режимінде инфрақызыл пирометрлермен бақыланатын 275-300°C ең жоғары температурамен босату процесіне ұшырайды. Корпусты білікке 100% қосылуын тексеру ультрадыбыстық бақылаумен жүзеге асырылады.

9.3.2. Жоғары тығыздықтағы энергия көздерін: лазерлік сәуле, электрондық сәуле, плазма пайдалана отырып, ТӘА термиялық әсерінің азайтылған аймағында дәнекерлеу

9.3.2.1. Әр түрлі санаттар

Қалдық кернеулердің әсерінен көлемді азайту мақсатында жоғары тығыздықтағы концентрацияланған энергия шоғырын қолдану рулімен қорытпаның қалыңдығын азайту пайдалы, өйткені үстіңгі қабаттан температуралық градиенттер құлап бара жатқан ағынға пропорционалды.

Жылдам дамып келе жатқан процесс-бұл *лазерлік сәуле* [BOU 92, CAZ 94, COL 83, MAZ 82], оның пайдалану ыңғайлылығы мен техникалық қызмет көрсетуге арналған күрделі қаржы және шығындар тұрғысынан неғұрлым үнемді көздердің қол жетімділігі ескерілген.

Мысалы, Францияның солтүстігінде жаңа беріліс қорабы үшін автоматты трансмиссия шығаратын зауытта гидротрансформаторда лазерлік дәнекерлеудің он қондырғысы және қуаты 6 кВт (жоғары жиілікті қоздыру лазерлеріне) бес көз есебінен тетіктер орнатылған, олардың әрқайсысы сағатына 200 бөлікті жылдамдықпен жұмыс істейді.

9.2a және 9.2b суреттерде осы қондырғының көлденең және бүйірлік түрі көрсетілген.

Тегіс лазер көздерінің (плиталар) соңғы конфигурацияларында оптикалық резонатор екі айнамен және екі параллельді радиожиілікті электродтардың арасында орналасады: өйткені осы екі су-салқындатылған электродтарда жылу газының жылуы таралады, дәстүрлі газ жүйелерінің айналымыенді керек емес, бұл жалпы өлшемдердің төмендеуіне, газдың төмен шығындарына және энергия мен техникалық қызмет көрсету шығындарын төмендету кезінде өнімділіктің артуына әкеледі.

Әдетте, 6 кВт тиімді шығу қуаты бар CO₂ лазері шамамен €4.105 тұрады. Мұндай лазерлік дәнекерлеудің бағасын шамамен көрсету үшін, біз 120 кВт тұтынатын осы типті көлденең ағынымен екі лазердің автоматты құрылғысын және сағатына 200 бөлшектерді дәнекерлеу өнімділігін (мысалы, автоматты беріліс қорабы компоненттерінің мөлшері) елестете аламыз: интеграцияланған операцияның жалпы өзіндік құны (техникалық шығындар + жанама шығындар + амортизациялық аударымдар) компонент үшін €0.5-тен аз.

10,6 мкм толқын ұзындығы бойынша жұмыс істейтін CO₂ лазерлері жоғары шығу қуаты (бірнеше кВт-қа дейін) бойынша ең кең таралған болып қалады, дегенмен, YAG лазерлері немесе шамамен бір микрометрдегі толқын ұзындығы бар лазерлік диодтар жақсы сіңіру сипаттамаларына ие, ал талшықты-оптикалық құрылғыларды волновод ретінде қолдануға болады. Бір кВт-ға жақын шығыс қуаты бар лазерлік диодтар және дәнекерлеу роботтары өртүрлі компоненттердің кішігірім партиялары үшін (9.5-тарауды қараңыз) барған сайын танымал бола түсуде.

Лазердің қалыңдығы бойынша шектеулері бар, ол дәнекерлеуге болады, ал сәуленің ену тереңдігі әдетте 10 мм-ден кем. Механикаландырылған дәнекерлеу құрылымы үшін оның қолданылу аймағы бұрынғысынша өте кең, онда қосалқы байланыстырушы бөлшектер негізгі құрылымға дәнекерленуі тиіс (мысалы: штифтер, тесіктер, жетек ашалар және т.б.). Бұл дәнекерленген жіктер балқытылған аймақтың бетінде, әсіресе екпінді тұтқырлығы төмен ($K_{1c} < 50 \text{ МПа}$ m) арнайы болаттарда қауіпті кесінділерге ұшырауы мүмкін және бұл тәуекелдерді

өлшеп оралған шоғырға дейін және одан кейін болдырмауға болады. *Электронды-сәулелі дәнекерлеу* мұнай-химия өнеркәсібінде немесе атом электр станцияларында қазандықтарға қызмет көрсетуде өнеркәсіптік ауқымда кеңінен таралған. Осыған байланысты дәнекерлеу қосындыланған болат пен қалың табақты Болаттың белгілі маркаларына қатысты. Үрдістің артықшылықтары [BOU 95, GRA 81, VAL 83]:

- сол қалыңдықта дәстүрлі дәнекерлеу процестеріне қарағанда жақсы өнімділік,
- түйіндердің шектеулі деформациясы,
- атмосфераның ластануы жоқ.



Сурет 9.3. *Тістегершікке дәнекерленген, кесілген тістері бар немесе оларсыз жұдырықшалы муфтаның бейнесі.*

Кемшіліктер, негізінен, кеуектілік және балқытылған аймақтың төмен соққылық тұтқырлығы тек қалың бөлшектерге жатады.

Қуат модуляциясы бар электрондардың шоғырын алдын ала немесе кейінгі қыздыру үшін оңай пайдалануға болады, және, демек, жоғары сапалы көп өтпелі дәнекерлеуді алуға болады. Вакуумдық технологияларға арналған шектеулер (дәнекерленетін беттерді дайындау, жуу және газсыздандыру, вакуум астында жиі сыну және т.б.), әрбір дәнекерлеу алдында компоненттерді магниттеу қажеттілігі және өте жоғары инвестициялық шығындар ұсақ бөлшектерді жаппай дәнекерлеуді шектейді. Бұл, әлі де, автомобиль өнеркәсібінде пайдаланылады қорап.

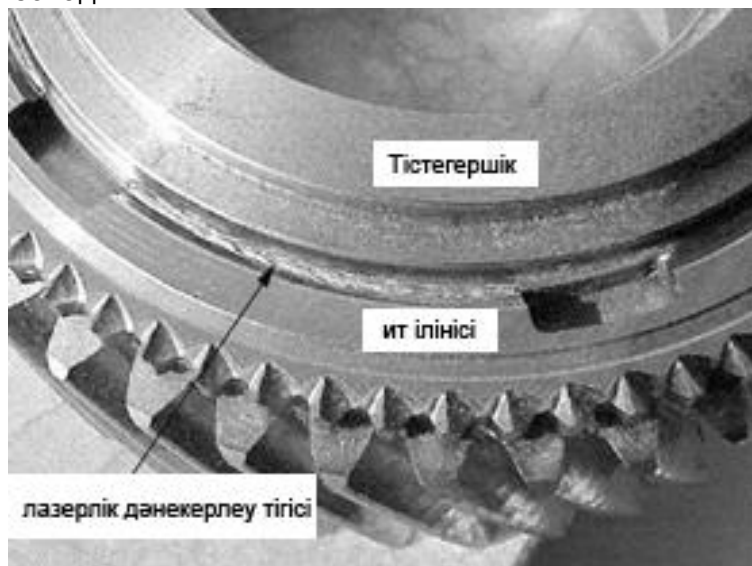
Үрлеумен доғаның көмегімен *плазмалық жанарғымен дәнекерлеу* кезінде (сирек тікелей әсер ететін доғамен) плазма көзінің жоғары температуралары пайдаланылады, әсіресе дәнекерлеу немесе тот баспайтын болатпен жабу үшін құнды; осы бастан кешкен плазмалық процестер кеңістікті үнемдейтін және әмбебап қымбат емес жанарғыларды (бірнеше кВт үшін €5.104 кем) пайдалана отырып, дәнекерлеудің едәуір тереңдігін жеңе алады. Оттықтардың бұл түрі ірі механикалық компоненттерге қатысты шағын партияларға арналған арнайы дәнекерлеу қондырғыларында жиі қолданылады.

9.3.2.2. *Металлургия сапасы*

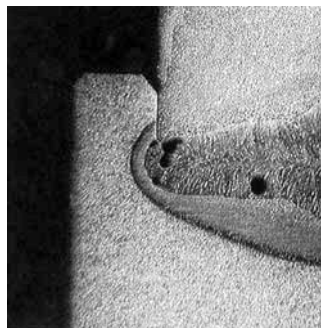
Біз электронды-сәулелі дәнекерлеу өте тар және салыстырмалы терең білікшелерді жасауға мүмкіндік беретінін көрдік, бұл жалпы төмен деформацияға және қысу әсеріне, балқытылған аймақтың шағын шөгуіне, қалдық кернеулердің азаюына және металлургиялық

сипаттамалары төмен термиялық әсердің тар аймағына әкеледі.

Кеуектілік сөзсіз болса да, оның ақылға қонымды өлшемдері мен тығыздығын оңай қайтаруға болады. Олар әдетте балқытылған ұңғыманың түбінде және бүйірінде үлкен және дөңгелек, бірақ басқа жерлерде кішкентай (9.5 суретті қараңыз) болады. Бұл ақаулар дәнекерлеу жылдамдығын азайту немесе білікше тербелісі (турбуленттілік) арқылы барынша азайтылуы мүмкін. Дәнекерлеуден кейін ұзақ уақыт бойы пайда болуы мүмкін суық жарықтардың пайда болуын алдын ала қыздыру және дәнекерлеу жылдамдығын төмендету арқылы болдырмауға болады.



Сурет 9.4. Лазерлік дәнекерлеумен дәнекерленген білікше және тістегершектегі жұдырықшалы муфтаның түрі



Сурет 9.5. Лазермен дәнекерленген корпусты (жұмсақ болаттан 3 мм) автоматты беріліс қораптағы муфтада (16 млн. Cr 5) микрографиялық кесу

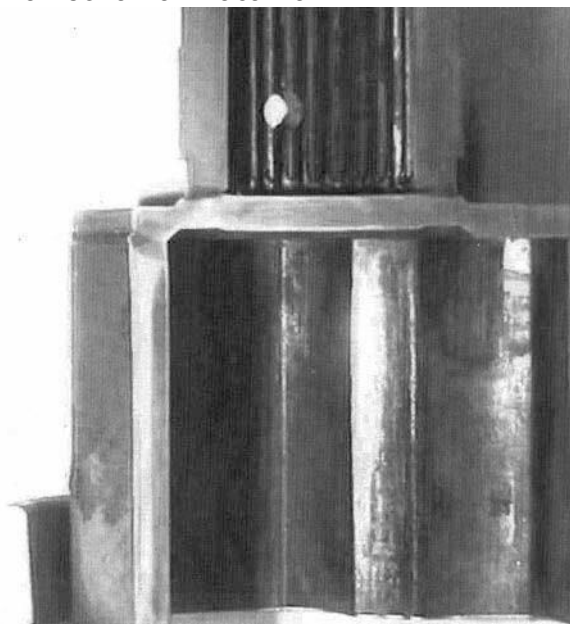
Автомобиль өнеркәсібінде жоғары энергетикалық шоғырдың көмегімен дәнекерлеу кезінде қолданылатын механикалық компоненттер көбінесе дөңгелек, шағын өлшемді және (болаттың әртүрлі сорттарының үйлесімінде): механикалық беріліс қорабының тістегершіктеріне арналған жұдырық муфтасының сақиналарынан (9.4 суретті қараңыз), беріліс қорабынан, шанышқыдан және т.б. тұрады. Әдетте, лазерлік дәнекерленген жіктер білікшелерінің күрделі геометриясына және 10 мм. Кем тереңдікке ие. Энергетикалық шоғырдың тығыздығы 1-ден 10 кВт/см²-ге дейін (электр доғасына қарағанда 10 есе көп) аралықты құрайды.

СО₂-лазерлерді пайдалану кезінде сәулениң едәуір бөлігі синтездеу процесі (95%, содан кейін 20%) басталмас бұрын көрсетіледі, ал сіңіруді қара бояуды немесе фосфаттауды пайдалану есебінен жақсарту қажет. Сонымен қатар, дайындау кезінде

түйіскен қосылыстарды болдырмау қажет скошенных жиектерін, өйткені сәуленің шағылысуы арқылы олар ену қабілеттілігінің айтарлықтай жоғалуына әкеледі.

9.3.2.3. Дәнекерлеу бөлшектерінің мысалдары

Қызғалдақ тәрізді бөлшектер беріліс қорабының сыртқы жағында CV-қосылыс ретінде шығып тұратын жылжымалы трансмиссиялық қосылыстарды білдіреді. 9.6-суретте көрсетілгендей, олар корпустан, кергіштерден және трансмиссияның инелі мойынтіректері (жылжымалы қозғалыс) тірелетін үш тірек беттерін көтеретін тығындардан тұрады. Көбінесе корпус пен гильза ХС 42-де (жергілікті индукциялық шыңдау үшін) орналасқан, ал төсемі 10 Mn Cr 5 типті төмен қоспаланған болаттан жасалған.



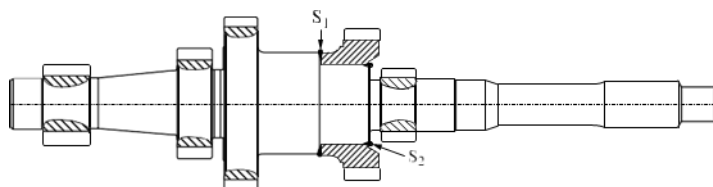
Сурет 9.6 Сериялық өндірісте өндірілетін лазермен дәнекерленген жылжымалы трансмиссиялық қосылыстың үлгісі

Корпус электронды пучка немесе лазер арқылы аралық төлкеге, ал ішкі төлке кергішке дәнекерленуі мүмкін. Мысалы, Ле-Мане Рено зауытында бір қызғалдақ түріндегі екі дәнекерлеу жігі күніне бірнеше мың жылдамдықпен қуаты 5,5 кВт СО₂ лазермен дәнекерленген.

Подшипниктің жұмыс беттерін индукциялау есебінен ақырғы жергілікті беріктендіру жарылуды болдырмау үшін дәнекерлеу аймағынан 7 мм қашықтықта тоқтатылуы тиіс. Дәнекерлеу қысқыш патронның айналуымен жүзеге асырылады, алдымен корпус үшін, содан кейін дәнекерлеу кезінде 10 мм жуық жабыны бар муфтаға арналған. Цикл уақыты 1,3 минутты құрайды, ал балқытылған аймақтың тереңдігі корпуста шамамен 5 мм және төлкеде 2,5 мм құрайды. Дәнекерлеу сапасы ауысым ішінде екі немесе үш бұзатын микрографиялық тесттердің жиілігімен бақыланады.

Лазерлік дәнекерлеудің басқа мысалы, жоғарыда қарастырылған жақын геометриялық формамен қызғалдақтарды экрандау болып табылады. Бұл экрандауға ХС 42 жасалған төлкенің жоғарғы бөлігінде 18/10 тот баспайтын болаттан жасалған жұқа табақты дәнекерлеумен қол жеткізіледі. Тура дәнекерлеу жігі үшін 1 мм лазерлік сәуле соққысының қарама-қарсы жағында қуаты 800 Вт бір ғана көз талап етіледі, және, анық, абсорбциялаушы жабынсыз, дәнекерлеу жылдамдығы секундына 1 см жуық үшін.

Лазерлік немесе электрондық сәулені пайдаланып дәнекерленген қосылыстың салыстырмалы сынақтары €5.105 мөлшерінде сол өндірістік шығындарда және сағатына 400 бөлшектің жылдамдығы кезінде, ашық айтқанда, осы әдістердің біреуіне артықшылық бере алмады. Екі жағдайда да сағаттық төлем пайдалану шығындары €2 және техникалық қызмет көрсету 8 еуроны құрады.



Сурет 9.7 *Осьтік және радиалды дәнекерлеу жіктерінің көмегімен редуктор білігіне тістегершіктерді орнату*

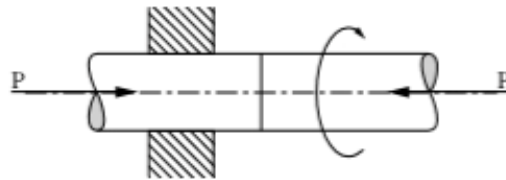
Лазерлік дәнекерлеудің үшінші мысалы 27 Mn Cr 5 беріліс қорабының кіріс білігіне 27 Mn Cr 5 тегершік (9.7 суретті қараңыз). Диапазонның соңында карбонитрацияны қолдану кезінде кішкене тісті қисайту мәселелерін ескере отырып, екі бөлікті осьтік және радиалды дәнекерлеуді орындау қажет болды. Балқыма аймағында көміртек құрамы 0,23 - тен 0,39% - ға дейін, ал күкірт-0,040-тен 0,060% - ға дейінгі үлесті құрады.

Дәнекерлеу жұмыс конфигурациясына байланысты. Демек, 2 см/сек жылдамдықпен радиалды дәнекерлеу ешқандай проблема тудырмады, ал сол жарты білікшеде орындалатын осьтік дәнекерлеу осыдан кейін (тістегершіктің тістерін аз бұрмалаумен) және қажетсіз жарылу болдырмау үшін дәнекерлеу жылдамдығымен екі есе аз орындалуы тиіс.

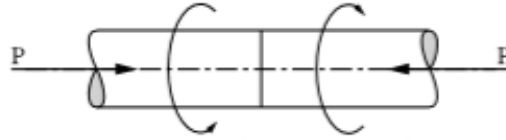
9.3.3. Үйкеліспен дәнекерлеу

9.3.3.1. Жұмыс істеу принципі

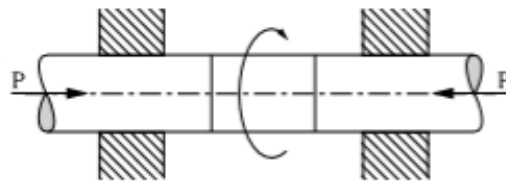
Процесс екі бөлікті қатты немесе жартылай қатты күйде өзара шығару жолымен құрастырудан тұрады, бұл ретте дәнекерленуге жататын беттер арасында алдын ала үйкеліс нәтижесінде пайда болатын соғу-диффузиялық байланысқа арналған жылу бір бөлшекті тез айналдыруға келтіру және оны кейіннен басқа бөлшектерге престоу жолымен алынады. Металл балқу нүктесіне жетпей бөлім бетінің температурасын арттырады [CAZ 96, COL 83].



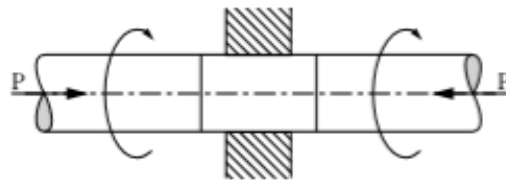
Екінші қозғалмайтын компонентке қарсы ұсталатын бір компоненттің айналуы



Бір-біріне қарсы ұсталатын екі компоненттердің қарама-қарсы бағыттарындағы айналу



Екі қозғалмайтын компоненттерді олардың арасында ұсталатын және айналуға әкелетін үшінші компонентке дәнекерлеу



Үшінші қозғалмайтын компонентке қарсы айналатын екі компонентті дәнекерлеу

Сурет 9.8 *Үйкеліспен дәнекерлеудің түрлі әдістері*

Шын мәнінде, 9.8-суретте көрсетілгендей үйкеліс дәнекерлеудің түрлі әдістері бар. Екі бөлікті бір-бірінен кейін бір элементарлық құрастыруда, біреуі тіркелген болып табылады, дәнекерлеу процесінде төрт фазаны байқауға болады:

- жылжымалы компонентті тұрақты жылдамдықпен айналдыруға келтіру: әдетте компоненттің сыртқы шетінде шамамен 2 м/с жету үшін минутына бірнеше жүз айналым;

- екі компонентті осьтік контактіге келтіру: түйіскен кезде қызады, кедергі сәті өседі, бірақ бөлшектердің ұзындығын елеулі кеміту жоқ;

- осьтік күшпен жалғасқан жазықтықтар соғу температурасына жеткенше ұстап тұру. Жартылай сұйық күйдің шеткі жағдайларында ығыстырылған Металл білікше қалыптастырады, ал бөлшектер шыңдалған аймақтарды пластификациялау жолымен қысқартылады. Материалдың жоғалуы металл тұздан басталады: қысқыш күштің әсерінен бұл жартылай сұйық металл май сияқты сыртқа шығады. Бұл пластикалық үйкеліс ұзақтығы бір жағынан, дәнекерленетін металдардың механикалық сипаттамаларына және екінші жағынан, құрастырудың қысқартатын рұқсаттарына бейімделеді;

- айналмалы бөлік кенеттен тоқтағаннан кейін, ақылға қонымды таңдалған уақыт ішінде компоненттердің қарама-қарсы диффузиясы арқылы қосылысты жүзеге асыру үшін қосымша осьтік жүктеме қосылады. Білікше көлемі ұлғаяды, құрастыру қысқарады және температура жылу өткізгіштігінің артынан жоғалтуларға сәйкес неғұрлым немесе аз тез түседі.

Әдетте үйкеліс басында төмен қоспалы болаттардың дәнекерлеуі қиманың см²-ге 5 CV қуатын, ал тұрақты айналғанда-осы тәртіптің жартысын талап етеді. Диаметрі 20 мм Орташа көміртекті болаттан жасалған профиль үшін қосымша қысым 5 секунд үйкеліс ішінде

60 МПа және 100 МПа құрайды.

Дәнекерлеудің осы түріне бейімделген геометриялық шешім, әдетте, дәнекерлеу орнында бірдей диаметрлі цилиндрлік бөлшектер, құбырлар, тегіс беттердегі цилиндрлік беттер, жиектерді өңдеу кезінде беттер және т. б.

Металлургиялық үздіксіздік қарама-қарсы диффузия жолымен алынады және болаттың мүлдем әр түрлі сорттарын қамтуы мүмкін. Қозғалатын компонент айналмалы қыздыру кезеңінде қозғалмайтын компонентке бірден қысады. Алынатын құрылым бөлшектер көлеміне және пайдаланылатын болаттардың қыздырылуына байланысты, бірақ олар, негізінен, қол жеткізілген жоғары температурадан шыңдалған конструкцияны білдіреді. Әрдайым дерлік дәнекерленген бөлшектер түпкілікті термоөңдеу қажет.

Процестің артықшылықтарын келесі түрде жиынтықтауға болады:

- түрлі металдар мен қалыптардан жасалған бөлшектерді дәнекерлеу мүмкіндігі,
- толтырғышсыз немесе газ қорғанышсыз,
- қайталанатын рұқсат етілген шектер,
- жеңіл балқитын металдың солидусының ішінде шеңбер бойынша біркелкі қыздыру,
- Автоматтандыру және жедел жұмыс мүмкіндігі,
- беттік мұқият дайындау жоқ (токарлық өңдеу + майсыздандыру),
- шектеулі қуат және төмен қызмет көрсету машина.

Процесті шектеу:

- құрастыру бөліктерінің бірін айналдыру үшін мүмкіндік беру қажет,
- үйкеліс коэффициенті төмен металдарды қыздыру күрделілігі (шойын, жез және т. б.),
- дәнекерлеудің ең үлкен диаметрі: өзектер үшін 150 мм, түтікті профильдер үшін 250

мм.

Көптеген металл жұптар үйкеліс арқылы дәнекерленуі мүмкін, атап айтқанда: болат-алюминий, болат-мыс, болат-никель және т. б.

Бұл дәнекерлеу режимі негізінен автомобильдерде механикалық компоненттер үшін қолданылады:

- механикалық өңдеу және көміртектеу (16 млн. Ст 5) немесе карбонитрлеу алдындағы қорапшалық беріліс біліктері,
- индукциямен соңғы шыңдау үшін ХС 42-дегі карданды біліктер,
- мартенситті тот баспайтын болаттан жасалған штокпен және ыстыққа төзімді аустенитті тот баспайтын болаттан жасалған басы бар биметалды клапандар.

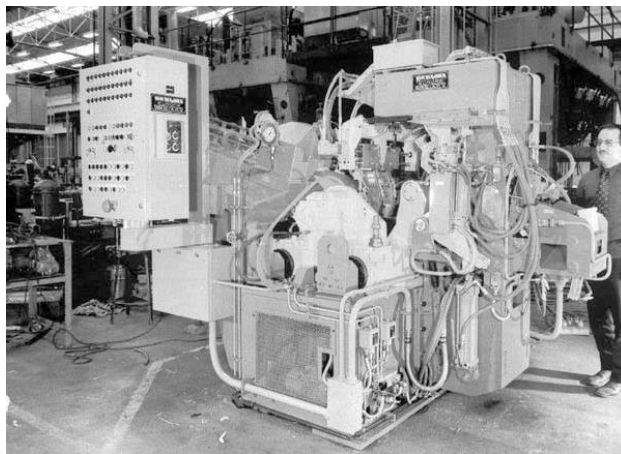
9.3.3.2. Өндірістің бірнеше мысалы

Соғылған дайындамаларды байлау

Станокта болаттың екі түрлі сұрыптарынан екі бөлікке бөлу арқылы немесе әр түрлі тәсілдермен жасалған бөлшектерді қосу арқылы (ыстық, жылы, суық соғу және т.б.) кейбір қақталған дайындамаларды өңдеу оңай немесе арзанырақ болады.

Егер бұл бөлшектер осесимметриялы болса, үйкеліспен дәнекерлеу бөлшектер арасындағы берік байланысқа қол жеткізу үшін қажет, әсіресе олар әртүрлі және күрделі құрамдарға ие болған кезде.

Әдетте, бұл процесс 9.7-суретте көрсетілгендей (салмағы 1,5 кг) беріліс қорабының жетекші білігін дәнекерлеу үшін қолданылады. Бұл жағдайда үйкеліспен дәнекерлеуге арналған аппарат (9.9-суретте берілген SCIAKY типі) осьтік күші 250 кН (максималды соғу күші) бар сағатына 180 бөлшектердің жылдамдығымен жұмыс істейді.



Сурет 9.9 *Үйкеліспен дәнекерлеуге арналған қондырғының түрі*

Күрделі геометриялық нысаны бар бөлшек (тістегершіктің тістері) ыстық өңдеуге және механикалық өңдеуге, ал басқа бөлігі тікелей суық штамптауға ұшырайды. Дәнекерлеу кезінде дәнекерлеу білігінің қысқаруы бөлшектің ұзындығы 135 мм болғанда 3 мм құрайды.

Қызғалдақ пішінді білік

Үйкеліспен дәнекерлеудің басқа мысалы ретінде трансмиссияның жартылай осін қызғалдақ түрінде күніне 12 000 бөлшектің жылдамдығымен жинау болып табылады: алдыңғы жетектің тең бұрыштық жылдамдығының топсасының орталық бөлігі алдыңғы доңғалаққа жанасуы тиіс (9.10-суретті қараңыз).



Сурет 9.10 *Қызғалдақ пішінде дәнекерленген білік*

Автоматты түрде жүктелгеннен кейін және жиынтықтағы ұзындығын тексергеннен кейін біліктің басы қысқыш патронға салынады, ал құбырлы білік тістермен бұғатталады. Басы 2400 айн/мин болғанда айналуға келтіріледі, ал екі компоненттің үйкелуі осьтік жүктемені реттеумен қамтамасыз етіледі. Тежеуден кейін 0,7 с ішінде соғу күші қалаулы соңғы ұзындыққа қол жеткізгенге дейін, тұтынылатын қуатты тұрақты бақылай отырып сақталады. Станок алдыңғы екі параметрлердің екеуі де рұқсат шегінде болған жағдайда ғана дәнекерлеу жігін өңдеуге тапсырыс береді; егер жоқ болса, бөлшек ақаулы бөлшектердің конвейеріне автоматты түрде салынады. Сондай-ақ білікшенің айналмалы тұрақтылығын кезеңдік визуалды бақылау жүргізіледі. Осы басқару элементтерінен басқа, соңғы өнімнің сапасы механикалық қондырғының параметрлерін сақтаған кезде қамтамасыз етіледі.

9.3.4. Джозль әсеріне сәйкес түйіс жік

9.3.4.1. Қағида

Балқытумен түйіскен дәнекерлеу кезінде алынған қосылыс (FRW) немесе түйіскен дәнекерлеу бір-біріне металл жапсырма материалсыз екі бөлікті бекітуден, бөлімнің бетін қыздыру үшін электр тоғын пайдаланудан, содан кейін олардың арасында соғу күшін қолданудан тұрады [CAZ 93, COL 83, NEG 95].

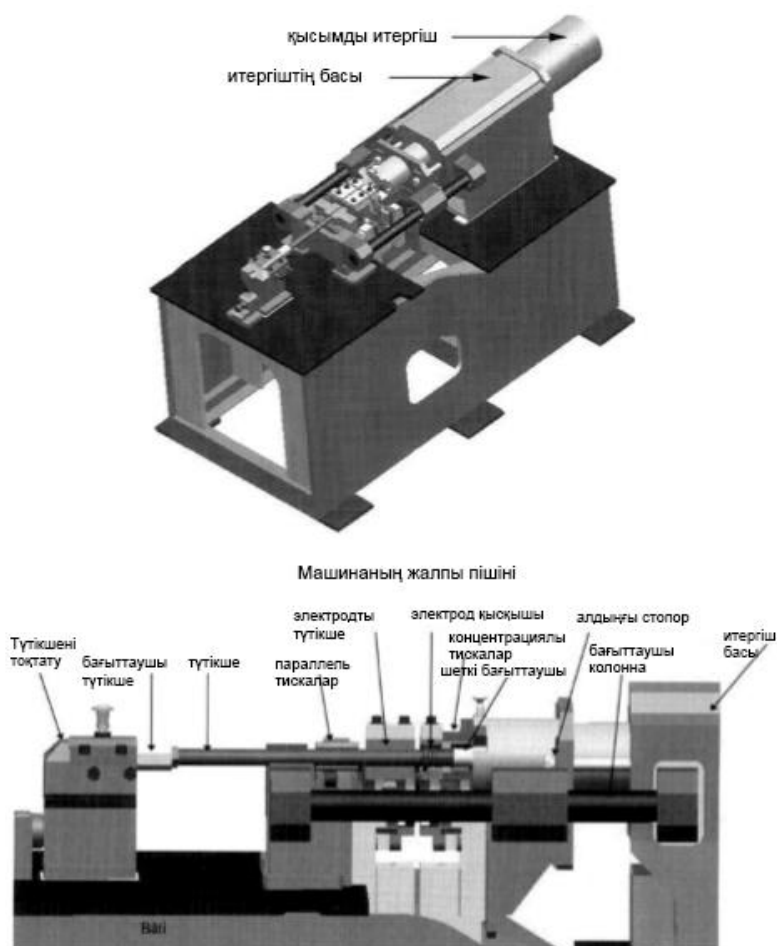
Түйіспелі дәнекерлеуге арналған дәнекерлеу аппаратының механикалық бөлігі (9.11-суретті қараңыз), ең алдымен, құрастыруға жататын компоненттер бар екі қысқыштардан тұрады. Жылжымалы қысқыш патрон қозғалысқа автореттелетін қозғалу жүйесі, жақындату және контактілік қысым кезеңдерін басқаратын кареткамен басқарылады.

Төмендеткіш трансформатор 5-тен 15 вольтқа дейінгі кернеуде бірнеше мың амперде шығыс тоғын қамтамасыз ете алады. Тоқ берілгеннен кейін бөлшектер бөлім шекарасында электр кедергісін сақтау үшін баяу жақындайды. Байланыстың тегіссіздігі буланады және бөліктер бақыланатын жылдамдықпен бірге қосылғанда, бұл жаңа тегіс емес балқып, ұшқын баулар түрінде қуылады.

Сонымен, бөлім беті балқытылған металдың қабықшасымен жабылған, сондықтан жарылыс фазасы үшжақты міндетін атқарады:

- жыпылықтау ұзақтығының болмашы қадағалаудағы бөлшектердің қызуы;
- металдың болмашы шығындарымен түйісу беттердің ұзындығынан ұйғаруы;
- бөлім бетінен булану арқылы тотығу тәуекелдігін шектеу.

Дәнекерлеу жоғары қысыммен қоректендіруді өшірумен жылдам байланыста аяқталады. Дәнекерленетін беттердің тығыз байланысына қосымша соғу бөлім бетінен қоспалары мен тотыққан элементтері бар балқытылған металл қабыршақты ығыстырады. Жылдамдық қысым сияқты, атап айтқанда, өңдеуге жататын білікше қалыңдығына да маңызды.



Сурет 9.11 Түйіспелі дәнекерлеу машинасының жалпы пішіні

Дәнекерлеудің бұл түрі қуатты қоректендіруді (әдетте: 0,05 кВА/мм²) және контактілік артық қысымды (5 гбар туралы) азайту үшін алдын ала қыздыру кезеңі алдында болуы мүмкін.

Үйкеліс арқылы дәнекерлеу процесінде дәнекерлеуге жататын беттерді алдын ала туралау сатысында жеткіліксіз тегістеу, оларға балқыту шегіне дейін қыздырылуға мүмкіндік береді, ал қысыммен неғұрлым кеш байланыс бүйірлік түрде беттік балқытылған металл мен оксидтерді ығыстыруға, содан кейін қатты фазада диффузия жолымен байланыс жасауға мүмкіндік береді. Жарқыл ұзақтығын бағалау және бөлім шекарасында оксидтердің немесе көмірсіздендірудің барлық іздерін жою оңай емес.

Осылайша, аустенитті тот баспайтын болатты қоса алғанда, қоспаланған болаттардың көпшілігі қосымша қыздырусыз дәнекерлеуге болады, бірақ бұл процедура шағын ұзындықта қызатын салыстырмалы шағын компоненттер үшін мүмкін.

Жару фазасы жоқ Джоуль әсерімен түйіскен дәнекерлеу жағдайында алдын ала қыздыру түйіспелі беттердің геометриясын қиыстырып келтіру жолымен шектеледі. Ол кезде дәнекерлеу қысымы қолданылатын жылдамдық ақырғы геометриямен және қажетті қосылыс сапасымен үйлесімді пластикалық деформациялар мен температуралардың біртіндеп таралуын қамтамасыз етеді. Осы процесте баламалардың белгілі бір санын ұсынуға болады: бөлшектерге қысымды қолдану жылдамдығына, пластификация жылдамдығына және қатты фазада болатын негізгі процестерге қарамастан, дәнекерлеу жігіне жақын рекристаллизация дамуына байланысты. Пластификациямен байланысты металдың қалыңдығы-қайта кристалдау және демек, бөлшектің өлшемінің өзгеруі мартенситті қабаттың өлшемі мен зиянды қалдық кернеулердің аймағы сияқты минимумға дейін азайтылуы мүмкін. Әдетте білікшелерді механикалық өңдеу арқылы алып тастау қажет, бірақ мартенситті аймақтардың орташа сынғыштығы сутегі болмаған жағдайда, егер бөлу шекарасындағы көміртекті эквиваленттің мөлшері ақылға қонымды болса, қосымша өңдеуді қажет етпейді.

9.3.4.2. Мысал: таратқыш білікте ұштықты ерітіп жабыстыру

Жаңа буынды тарату біліктері тартылған құбырға жиналған, қозғалысқа келтіруге арналған болат ұшы бар болат жұдырықшадан тұрады. Құбыр (26 Мп 5) және соңы (tal C25 немесе C35 ұшталған болат) лазерлік сәулемен салыстырмалы оңай дәнекерленетін болат сорттарынан жасалған болса да, Джоуль әсері арқылы түйіскен дәнекерлеу өнімділігін арттыру үшін неғұрлым қолайлы болуы мүмкін.

9.12-суретте ұсынылған дәнекерлеу машинасында екі мыс қысқыш губкалар жанасу жазықтығынан бірнеше сантиметр қашықтықта болады, біреуі – шеткі бөліктің жиегі, екіншісі - түтікше. Соңғысы конус тәрізді механикалық өңдеуге ие, ол түтіктің сақиналы бетімен түйіскен кезде контактінің бастапқы электр кедергісін оқшаулайды. Тартымдық жүктеме 1500 даН тұрақты түрде құбырды ұстап тұратын жылжымалы қысқыш патронға салынады, ал ұштарын ұстап тұратын қысқыштар бекітілген.



Сурет 9.12 Механикалық тиктердің бөлшектері 9.11-суретте көрсетілген

Көп сатылы электр кіріс бағдарламасы бірнеше кезеңде берілетін бірнеше мың ампердегі токпен өте әр түрлі болуы мүмкін.

12 секунд ішінде типтік цикл келесі кезеңдерді қамтиды:

- екі бөлікті 1500 даН жүктемемен контактіге келтіру,
- бөлім шекарасында 15 000 а кезінде 0,25 секунд ішінде, 500°С дейін алдын ала қыздыру,
- бірінші жарқыл 0,5 секунд кезінде 28 500 А,
- термиялық регомогенизация 1 секунд ішінде, ал бөлім бетіндегі жүгірткі тоқтың өтуін түтікше номиналына дейін арттырады,
- 13 500 А кезінде ұзақтығы 1 секунд екінші тұтану, оның соңында бөлімнің бетіндегі температура 1200°С жетеді, ал қысым бірнеше МПа деңгейінде қалады,
- тарау шекарасында дәнекерлеу қосылысы аяқталғанда, диффузияның 2-секундтық уақыты,
- әр 0,5 секундтық цикл арасындағы аралықпен 11 500 А кезінде 0,5 секундтық жылудың алты циклы. Бұл фаза аустениттік аумақтардағы салқындатуды баяулатуға, мартенсит дәрежесін азайтуға және жіктердің беріктігін жақсартуға арналған.

Дәнекерлеудің соңында білікшеде шаршау жарығының ерте пайда болу қаупін болдырмау үшін токарлық өңдеу орындалады. Жиналған біліктің ұзындығы салқындатылғаннан кейін бір жүз миллиметрге дейін дәл болуы тиіс.

Дәнекерлеу сапасы, сондай-ақ балқытылған металл тамшыларының болмауы бақыланады, олар түтікте қалуы және компонентті майлауға кедергі жасау қаупімен пайдалану процесінде үзілуі мүмкін.

Дәнекерлеудің осы түрі өндірістік желіні құрастыру үшін әр түрлі шеткі бөлшектер есебінен (қозғалтқыш түріне байланысты) үлкен икемділікті және құрастырудың геометриялық дәлдігіне және иілу кезіндегі шаршау беріктігіне қатысты жақсы жаңғыртуды қамтамасыз ететіні дәлелденді. Болдуинді сынау көмегімен анықталған иілу кезіндегі топырақ шегі микрографиялық үлгілерде байқалатын металлургиялық жағдайды растады: ультрадыбыстық зерттеу кезіндегі үздіксіздік, бөлімнің бастапқы шекарасында тотығудың болмауы және бірнеше миллиметр мартенситті қалыңдығы. Статикалық топтау және осы аумақтардың шаршау беріктігінің болмауы, тіпті қайта сульфирленген С35 болаттың ұштарына дейін, 650 HV кезінде қабылданбаған мартенситтер қайта балқу кезінде пайда болатын жарылу қаупін (сутегі, қалдық кернеулер) білдірмейтінін растайды.

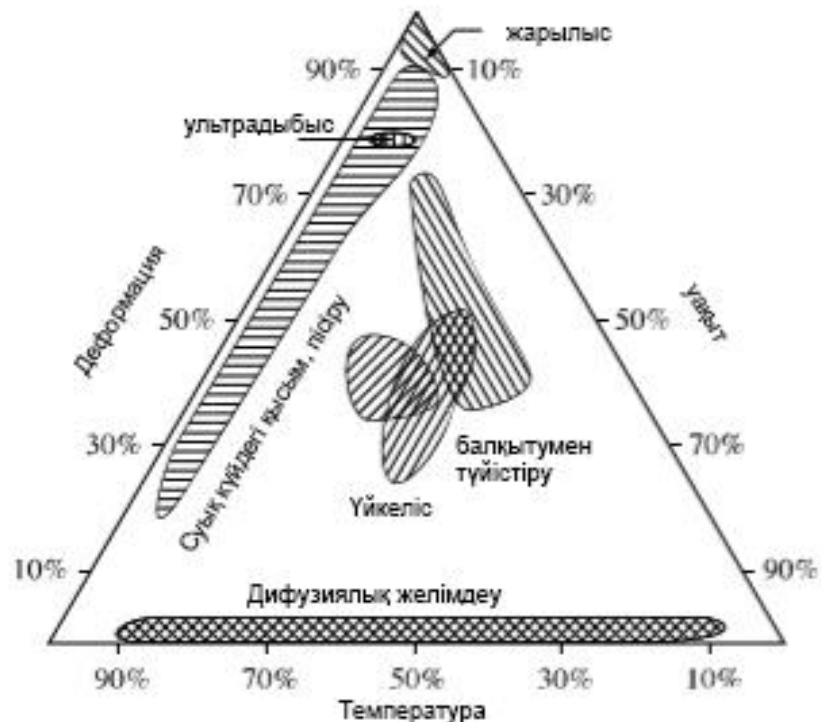
9.3.5. Қатты фазадағы диффузиялық дәнекерлеу

Қатты фазадағы әр түрлі құрастыру технологиялары [COL 83] бірдей жұмыс параметрлерін талап етеді: температура, қысым, әрекет ету уақыты және барынша жиі қолданылатын әдістер үшін осы параметрлердің бір графикте өзгеру аймағын көрнекі түрде көрсетуге болады (9.13-суретті қараңыз).

Графиктің диффузиялық дәнекерлеудің бастапқы құрылымға (тиісті көлемі мен зақымдану дәрежесі) қатысты ең аз деформациялаушы және ең аз жойғыш процесс болуы мүмкін екенін көрсететінін ерекше атап өткен жөн.

Бұл жоба алдыңғы процестермен салыстырылатын өнеркәсіптік өндіріске ауысу деңгейіне жету үшін тым жас болып табылады [HOU 91]. Дегенмен, ол алдыңғы қатарлы технологиялық салаларда қолданылады: атом энергетикасы, қару-жарақ, аэроавиатика,

электроника, биомедицина және т. б. Бұл процесс болашақта болаттан жасалған шойын, жоғары қоспаланған болат және көміртекті емес темір сияқты күрделі қосылыстар үшін перспективалы нәтижелерге ие. Өндірістік нұсқа, динамикалық диффузиялық дәнекерлеу, бұл процесті дәстүрлі өнеркәсіптің жұмыс ауқымына орналастырар еді.



Сурет 9.13 Қатты фазалы дәнекерлеудің түрлі тәсілдері үшін температура-қысым-уақыт бойынша жұмыс кестесіне орналастыру

9.3.5.1 Сипаты мен сипаттамалары

Мұндай дәнекерлеу бөлім бетін тамаша тегістеу, микрогеометрия, кедір-бұдырлық және физикалық-химиялық жай-күйі (үстіңгі оксидтерді жою) тұрғысынан дәнекерленетін беттерді мұқият дайындауды талап етеді. Содан кейін олар вакуумдық резервуарда немесе ионды тозаңдату, радиациялық қыздыру арқылы қосымша тазалау құралдарымен, сондай-ақ қысу қысымын (бірнеше ондаған МПа) таңдап алынған температурада қатысушы металдар ағынының шегінен төмен ұстап тұруға мүмкіндік беретін қысқышпен жарақтандырылған қолайлы қорғаныш ортада жиналады. Бұл температура дәнекерленетін қорытпалардың солидусынан әрдайым төмен, әдетте, дәнекерленетін бөлшектердің дәлдігіне әсер ететін шамадан тыс сырғуды болдырмау үшін айтарлықтай төмен. Дәнекерлеу уақыты пайдаланылатын қорытпаларға байланысты. Егер D - өзара диффузия коэффициенті, ал W - шектеу жағдайындағы өзара іс-қимыл ұзақтығы болса, онда диффузияның орташа ұзындығы $O(DW)^{1/2}$ бірнеше микрометрден асатын шаралар қолданылады. Шын мәнінде, металл қосылыстарды құру қарама-қарсы диффузияға және ыстық рекристаллдандыруға ғана емес, сонымен қатар жентектеу механизміне ұқсас механизм бойынша контактінің ақауларын сіңіруге байланысты.

Динамикалық диффузиялық дәнекерлеу компоненттерді дәнекерлеу температурасына дейін неғұрлым ертерек (индукциялық қыздыру) түйіспелі артық қысымды модуляция арқылы аз тұрақты материалдың ағымдылық шегінен сәл төмен деңгейде қыздырудан тұрады.

Осылайша, өте жылдам беттік байланысқа тез қол жеткізіледі және бірнеше минуттан кейін берік металл байланыс орнатылуы мүмкін. Осылайша, сұр шойын мен болат арасындағы қосылыстар өнеркәсіптік мүмкін, жалпы беріктігі шойынға қарағанда жоғары [CAL 86].

Бөлшектерді макроскопиялық деформациялауды қыздырылған ұзындықтан 2%-ға шектеуге болады және кейіннен механикалық өңдеуді жиі болдырмауға болады, әсіресе қорғаныш ортада жиналған бөлшектер тотықпайды.

Дәнекерлеу кезінде конструкциядан жылуды жергілікті бөлу дәнекерлеу қосылыстарын қосымша термиялық өңдеуді қажет етпейді.

Дәнекерленген жіктің сапасы, ең алдымен, бет контактілерінің тазалығы мен жақындығына байланысты. Оңай үйкеліс (салыстырмалы микробтық) бұл контактіні жақсартуға мүмкіндік береді.

9.3.5.2. Қолдану аясы

Қосылыстың бұл түрін, негізінен, басқа тәсілдермен дәнекерлеу қиын болаттан, шойыннан немесе жоғары қоспаланған болаттан жасалған қосылыстар үшін микромеханикада дамыту қажет. Мысалы, көміртекті немесе азотталған бөлшектерді тек қосылыстардың бетінен ғана өңдеуді алып тастай отырып, немесе оларды бүркей отырып, немесе механикалық өңдеу арқылы дәнекерлеуге болады. Сондай-ақ, болат беттерді байланысқа келтірмес бұрын жұқа никель парағын қоюға болады.

Диффузиялық дәнекерлеу термохимиялық өңдеуге ұшыраған бөлшектерде пайдаланылуы мүмкін. Артықшылықтары диапазондардың қысқаруы және өндірістік желінің икемділігі болуы мүмкін. Осылайша, ол 27 Cr Mo 4 [LEP 92] қызғалдақ пішінді жетектің карбонитридті біліктері үшін қолданылған, өйткені үйкеліспен дәнекерлеу осы құрылымдарда жақсы нәтиже бермейді.

Дәнекерлеудің қабылданған шарттары келесідей болуы мүмкін:

- кейіннен майсыздандырумен мұқият механикалық жылтырату ($R_{max} = 1$ мкм),
- қосылыс қысымы: 300 МПа, қолдану уақыты ішінде қайталанған циклді,
- вакуумдағы 1050°C температурада бес секундтық дәнекерлеу.

Алайда төмендегілерді атап өткен жөн:

- бөлім шекарасында карбонитрленген қабатты сақтауымызға қарамастан, бөлімнің бетінде жақсы кедір-бұдырлық қажет;
- карбонитрленген қабаттың қаттылығы реактор әсер ететін биіктікте жоғалады;
- бөлімнің бетінде тұтқырлықты қозғамау үшін құрамында 0,020% кем күкірт бар сорттармен жұмыс істеу жақсы;
- бөлім бетінің қасиеттерін одан әрі температураның жоғарылауы кезінде салыстырмалы бұрыштық тербелістер немесе үлгілердің тербелістері салдарынан механикалық беріктендіру нәтижесінде пайда болатын қайта кристалдау жолымен жақсартуға болады ;
- бөлу шекарасында дәнекерлеу кезінде бөлу шегінің жанында негізгі металл элементтерінің (S, P, N) тұрақтандырылған диффузиясы бар 20 нанометрге жуық мөлшердегі микрোকөшіктілік қалады.

Пайдаланудың дәл осындай жағдайларында қосылыстардың диффузды дәнекерлеу жолымен күшті механикалық қосылыстардың сипаттамасы алынуы мүмкін: SG шойын/перлитті шойын және қалыңдығы 10 мкм никель жолағын салумен шойын/болат.

9.4. Осы компоненттерді дәнекерлеудің ерекшеліктері мен бақылауы

Өртүрлі дәнекерлеу режимдері пайдаланушылық талаптардың және сапаны бақылаудың объектісі [NOR 83], сондай-ақ механикалық компоненттердің кез-келген жаппай өндірісінің нормасы болып табылады.

Бұл ерекшеліктер мен тиісті қадағалау процесі, ең алдымен, алдыңғы тәжірибеге

және жылу циклдарын немесе осы циклдарды басқаруға мүмкіндік беретін жылу көзінің параметрлерін жүйелі құжаттауға негізделген.

Шағын көлемді шағын механикалық цехтарда дәнекерленген жіктер бұзбай бақылаудың әртүрлі әдістерінің көмегімен жеке тексерілуі мүмкін: ішкі кеуектілігін анықтау үшін ақауларды, рентгенографияны және ультрадыбысты анықтау үшін енетін бояғыш заттар және магнитоскопияны сынау.

Ірі масштабты автомобиль және машина жасау өнеркәсібінде өндірістің сапасын бақылау қатаң, икемді және қарапайым болуы керек, өйткені дәнекерлеу үрдісі кезінде қауіпсіздіктің үлгісі ретінде қысқаша түрде көрсетіледі.

Алдын ала зерттеу (тәжірибелік үлгіні сынау сатысы) бастапқыда өндірістік желіде оңай іске асырылатын басқару құралдарының әдістері мен ауқымын анықтау керек; бұл дайындалатын бөлшектердің сапасын сәтті бақылауға арналған кілттердің бірі. Дәнекерленген жіктерге әсер етуі мүмкін түрлі ақаулардың ерекшеліктері Практикалық және тиімді болуы үшін өте дәл орнатылуы тиіс. Осы ерекшеліктерді қолданатын және тексеретін *сапаны қамтамасыз ету жөніндегі жоспар* қарапайым болуы тиіс және атап айтқанда, өндіріс процесінде оларды қиыстыру үшін бақылау жиілігі үшін тәуекелсіз әзірлеуге мүмкіндік беруі тиіс. Бұл жоспар екі бақылау тексерісі арасында корпуста бөліктердің сақталуын қысқартуға мүмкіндік беруі тиіс.

Бұл екі құжаттың заңдық негізі болғандықтан, барлық аталған рәсімдер тексеруге берілуге тиіс екенін ескеру қажет. Бұл оларды нақты жолмен қолдануға болатындай болуы тиіс қатаң айқындық растайды.

9.4.1. Дәнекерлеу сапасының ерекшеліктері

9.4.1.1. Мазмұны

Бұл құжатта дәнекерлеу жігінің (макро және микро) барлық мүмкін болатын ақауларын атап көрсету және олардың қолайлылық деңгейін көрсету қажет; ол сондай-ақ бақылауды жүзеге асыру үшін пайдаланылатын қаражатты анықтайды.

Ақаулардың қолайлы деңгейлерін дәл анықтау және ескеру қажет:

- металлургиялық тәуекелдер: сызаттар, көпіршіктер, шөгу және т. б. сияқты микро-ақаулардың пайда болуы.,

- құрастырудың статистикалық-механикалық қасиеттері: тартқыш қуаты, жылжу, үзілу, айналдыру және т. б.,

- динамикалық қасиеттері: соққы, шаршау.

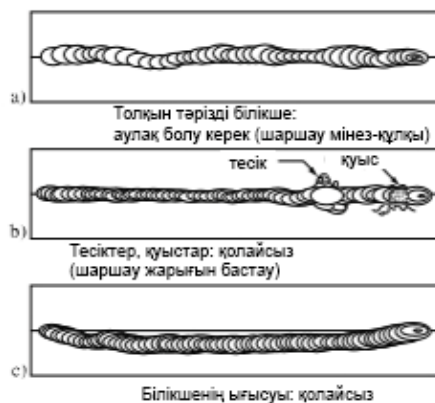
Металлургиялық тәуекелдер материалды алдын ала таңдаудың арқасында барынша азайтылады (спецификацияларда көміртегі, күкірт, фосфор және т.б. құрамының рұқсат етілген деңгейі көрсетілуі тиіс) және егер Болаттың қиын сорттарын болдырмау қиын болса, дәнекерлеу диапазоны мен параметрлері бойынша (алдын ала қыздыру, кейінгі қыздыру, орнында қайта қыздыру және т. б.); спецификацияларда осы операцияның өнімділігін басқару құралдары, атап айтқанда машинаны дәнекерлеу параметрлерінің іздерін басып шығару арқылы егжей-тегжейлі сипатталатын болады.

Құрастырудың механикалық беріктігі макроақауларды шектеумен және дәнекерленген жіктің дұрыс геометриясымен қамтамасыз етіледі: техникалық сипаттамаларда дәнекерленген жіктің барлық бағыттарында қосылыс мөлшері ең жұқа бөліктің жуандығынан артық болуы тиіс екенін көрсету керек.

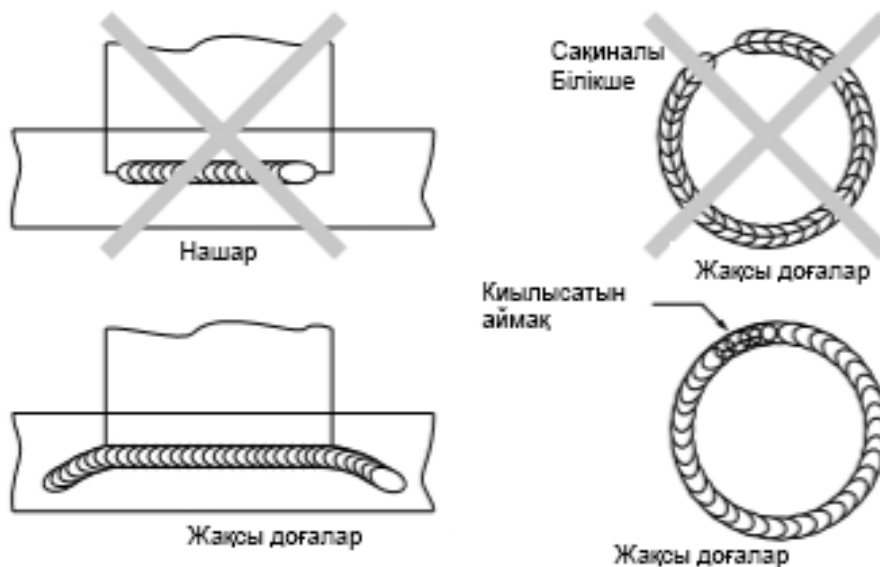
Дәнекерленген жіктің шамадан тыс сынғыштығын болдырмайтын құю немесе дәнекерлеу шарттары арқасында жинаудың динамикалық қасиеттері соққы әсеріне қатысты барынша азайтылады; шаршау беріктігіне қатысты олар жарықтың пайда болуына әкелуі мүмкін барлық тән геометриялық ерекшеліктерді шектеу жолымен қасиеттерді жақсартыды.

Мысалы, 9.14-ден 9.16-ға дейінгі суреттердегі ұсынымдар жіктің геометриялық шектеулерінің көмегімен дәнекерленген жіктің статикалық және динамикалық тәртібін қалай

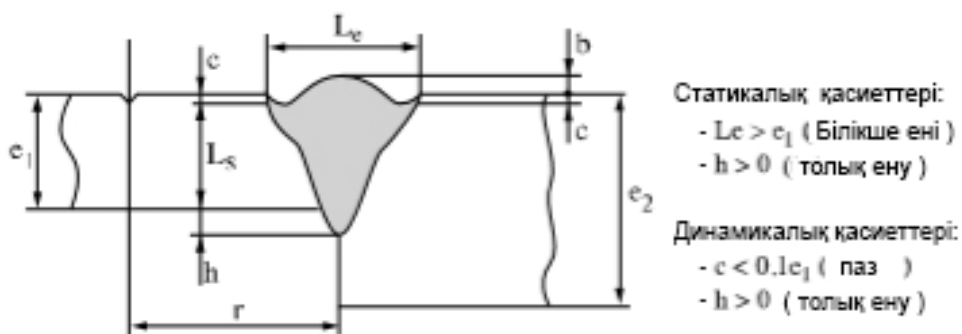
жақсы бақылауға болатынын көрсетеді.



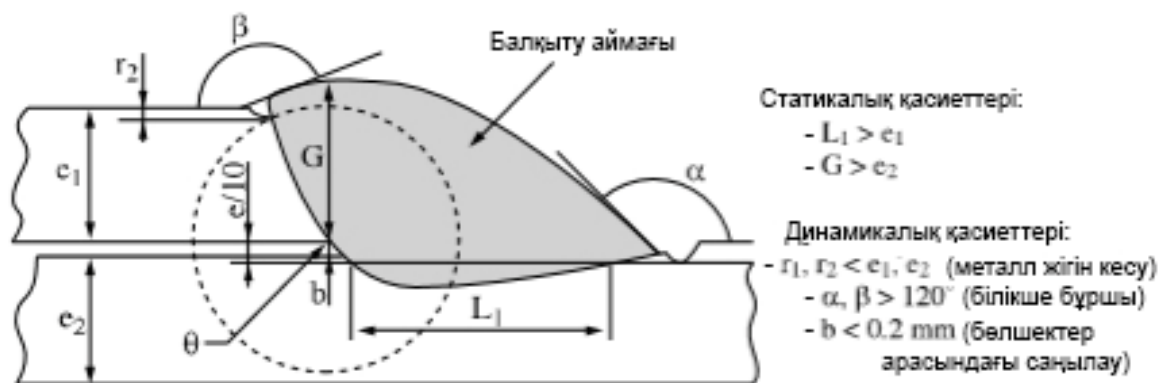
Сурет 9.14 Шаршау жарығының пайда болуы



Сурет 9.15 Мониторинг жоспарын әзірлеу үлгісі



Сурет 9.16. Лазермен дәнекерлеу кезіндегі білікше



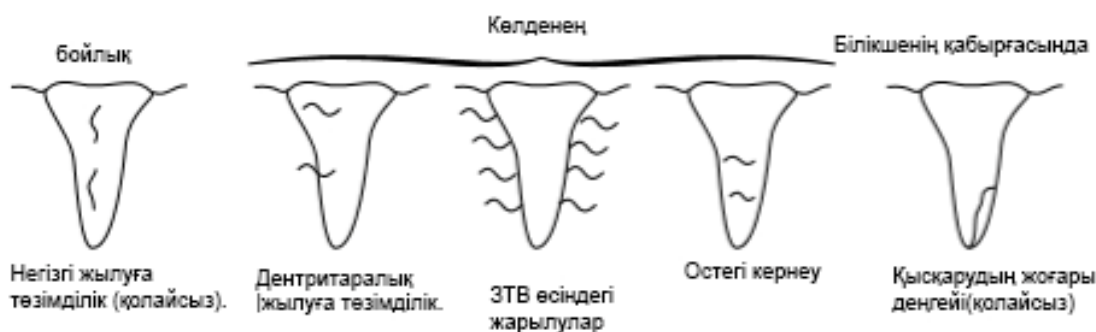
Сурет 9.17. Доғалық дәнекерлеу кезіндегі білікше

Ішкі микроақаулар: олардың пайда болуы, негізінен, олар айтылған түрлі металлургиялық тәуекелдермен байланысты.

Лазерлік немесе электрондық дәнекерлеу үшін қабылдау үлгісі төменде көрсетілген.



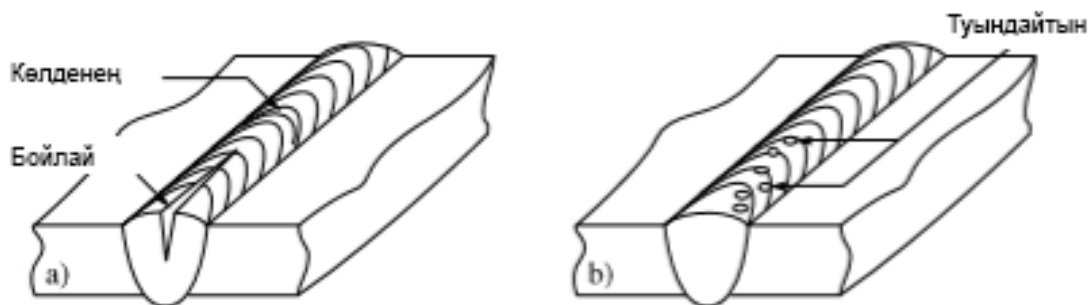
Сурет 9.18. Кеуектілік



Сурет 9.19. Жарылулар

Мұндай ақауларды бақылау әдістерін (микрографиялық тіліктердің белгілі бір саны бойынша статистика, ультрадыбыс және т.б.) жаппай өндіріс кезінде іске асыру қиын.

Құрауыштарды дәл таңдау кезінде дереу араласуды талап етпейтін ақаулардан зиян қолайлы шектерде қалатыны жиі танылады. Егер олар келтірілген мысалдар сияқты жер бетінде байқалса, олардың пайда болуына жол берілмейді.



Сурет 9.20. (a) Жарылулар және (b) кенеттен пайда болатын кеуектілік

Өнімді бақылауды азайту және оңайлату тәсілі, егер білікшені көзбен бақылау кезінде (қараусыз көз немесе қалыпты ұлғайту әдісімен) оларды анықтай алмаса, барлық микроақауларға жол беру болып табылады. Ішкі ақауларды мұндай мақұлдау бөлшектерді алдын ала тексеру сынағымен негізделуі тиіс.

9.4.1.2. Негізгі ерекшелік кестесі

Компоненттер-прототиптерді өндіру үшін жоғарыда аталған барлық қағидаттарды ескеретін ерекшеліктердің алдын ала кестесі анықталады. Бұл құжат үлгі ретінде маңызды; ол жақсы белгілі сипаттамалары бар бөлшектерді жасауға мүмкіндік береді, осылайша болашақ жетілдіруді жеңілдетеді.

Көптеген жағдайларда осы алдын ала графиктің ұсыныстары тексеру сынақтары кезінде компоненттің сипаттамаларына қойылатын талаптарды қанағаттандыратын дәнекерлеу сапасын алуға мүмкіндік береді.

Алайда, осы сынақтар барысында көзделгеннен асатын жүктемелер дәнекерлеу жігінің бұзылуына әкеп соқтыруы мүмкін. Үзілістерді егжей-тегжейлі бағалау ерекшеліктердің соңғы кестесін орнату үшін рұқсат деңгейін анықтауға мүмкіндік береді.

Әдетте түзетулер қосу геометриясына немесе шаршау жарылуы басталуына әкелетін ақауларға қатаң рұқсатқа қатысты болады.

9.4.1.3. Ерекшеліктердің соңғы кестесі

Бұл жаппай өндірісте компоненттерді қолдануға арналған құжат. Тәжірибелік үлгіні тексеруді талдау нәтижесінде алынған өзгерістерді қоса алғанда, осы құжат:

- Ақаулардың тізімі және сипаттамасы,
- Ақауларды қабылдау деңгейі,
- Осы қабылдау деңгейін бағалауға арналған құралдардың сипаттамасы.

Ақауларды бақылау әдісін іске қоспайды, бірақ оны ерекшеліктер кестесінде аталғандар мен тексерілгендер арасында таңдау керек. Бұл құралдарды таңдау және оларды қолдану мерзімділігі дәнекерлеу жігінің сапасын қамтамасыз ету жоспарының мәні болып табылады.

9.4.2. Дәнекерлеу жігінің сапасын қамтамасыз ету жөніндегі жоспар

Оның көмегімен құрастырылған компоненттің әрбір дәнекерлеу жігі үшін техникалық сипаттамаларды таңдау әдістері қолданылады және тексеріледі.

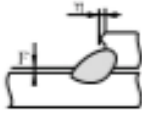
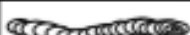
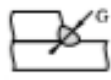
9.4.2.1. Мазмұны

Техникалық сипаттама тізімінде көрсетілген әрбір ақау үшін:

- осы ақауды тексеру үшін қолданылатын бақылау әдісі (дәнекерлеу параметрлерін дәл тексеру, визуалды, макрографиялық және т. б.);
- осы басқару элементтерінің әрқайсысы үшін жиілік (100%, әрбір n бөлігі және т. б.),
- сәйкес келмеген жағдайда қабылданған шешім (дабыл сигналы, бөлшектен немесе партиядан бас тарту, ректификация және т. б.); бұл соңғы жағдайда ректификация рәсімі сипатталуы және расталуы тиіс,
- бақылау нәтижелерін тіркеу кезінде (журналдар, графиктер және т.б.) және тексерулерді жеңілдету үшін (стандартты бөлшектер, компоненттердің жақсы және жаман мысалдары жұмыс орнында бар және т. б.) орындалатын іс-әрекеттер.

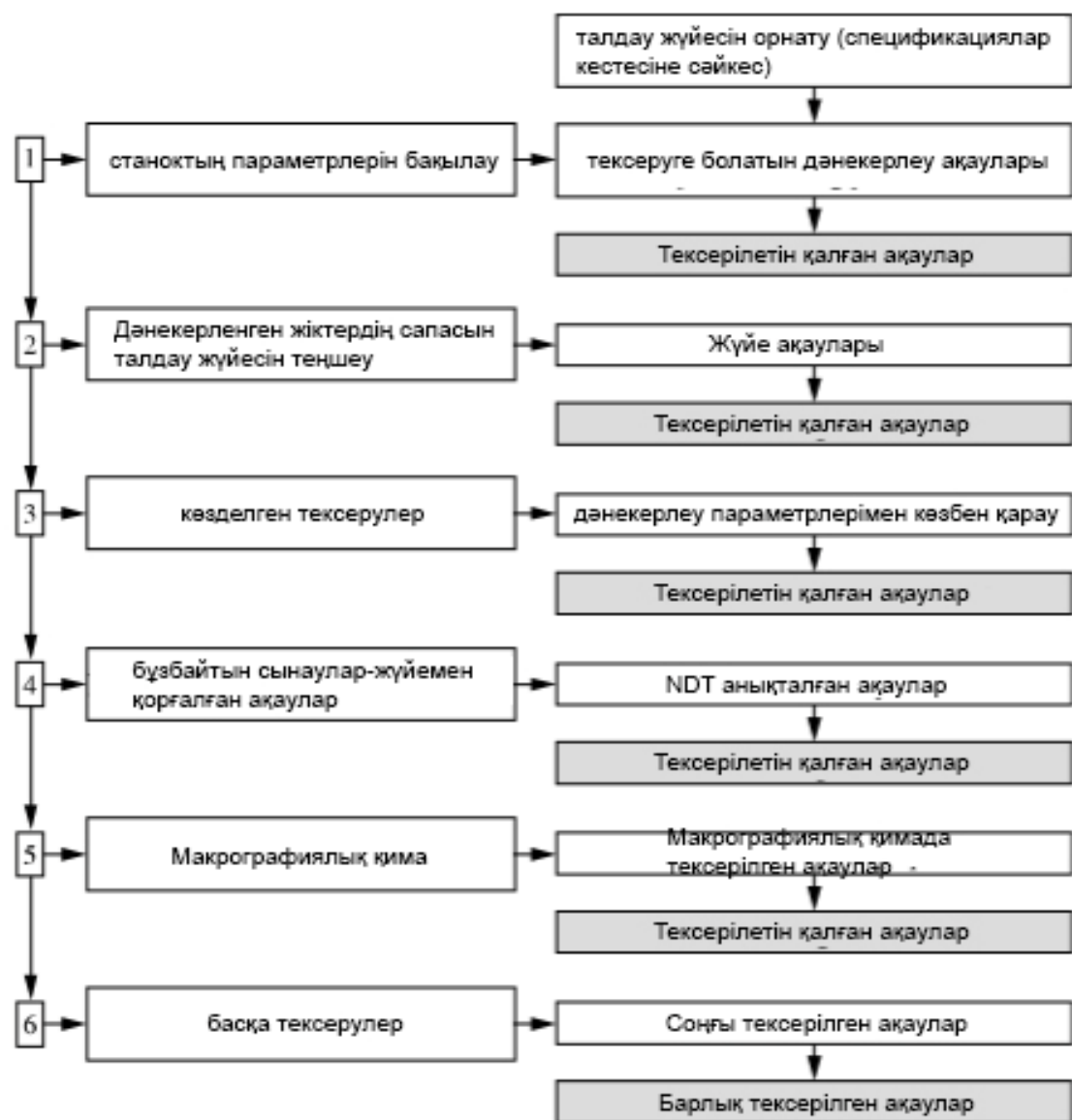
9.21-суретте көрсетілген мұрағаттық кестені қолдануға болады.

Жақсы сапаны қамтамасыз ету жоспары таңдалған бақылау әдістері барынша қарапайым болуы тиіс екенін ескереді. Дәнекерлеу машинасын дәнекерлеу параметрлерін тексеруді және дәнекерлеу жігінің жалпыға белгілі ақаулары пайда болған кезде кез келген ауытқулар бойынша қорытындыны қатаң ұсыну қажет. Дәнекерлегеннен кейін білікшені тікелей бақылау жүйесін (камера және т.б.) қарсы алу керек, өйткені келесі басқару құралдары жиі қысқарады. Бақылауға жалпы шығындарды азайту үшін бұзылмайтын бақылау әдістерін мақұлдау қажет. Әрбір бақылаумен өлшенетін параметрлерді дәл тіркеу ұсынылады. Бақылау нәтижелерін күтуде күту режимінде партияларды сақтау өнім ағынының пайымдауларын негізге ала отырып, барынша азайтылуға тиіс; бұрын келтірілген параметрлерді қадағалау партияны бұғаттамай дәнекерлеу параметрлеріне дереу түзететін әсері бар хабарлау табалдырықтары жүйесінің көмегімен ағынның жақсы сапасын қамтамасыз етудің жақсы құралы болып табылады. Әрбір бақылаудың жиілігі икемді болуы тиіс: әзірлеу процесінде, көбінесе өндірістің басында бір-біріне жақын, мақсаты шығындарды төмендету мақсатында өндіріс процесінде осы бақылау элементтерін орналастыру болып табылады. Бұл шешім тиісті есепке алу негізінде ғана қабылдануы тиіс.

Ақау сипаттамасы		Басқару әдісі	Рөлікті қабылдау туралы шешім		Жұмыс бекеті
Жарықтар пайда болатын жарықтар					
Кеуектілік пайда болатын құюдағы қуыстар					
Тіліктер					
Жеткіліксіз ену					
Каналды кезең Шамадан тыс ену					
Тілістің ақауы, бүктелген Білікше					
Позицияның кемшіліктері, Білікше					
Толқынды Білікше					
Тесік, Білікше біркелкі емес					
Нашар тілістер салу					
Білікше қимасы тым төмен Жеткіліксіз тіліс					
Бөліктері арасындағы саңылау тым үлкен					

Сурет 9.21. Мұрағат жазбаларына арналған бланк

Бұл бақылау нәтижелерін кейіннен бақылаудың және тіркеудің маңыздылығын көрсетеді. Осылайша, жиіліктерді өзгерту тәртібін жазу керек ("қанағаттанарлық сапа беретін лтексерулерден кейін, жиілікті бақылау болады ..."). Тиімді жиілік интервалы тек материалдың сенімділігін ескере отырып анықталуы мүмкін болғандықтан, тек осы материалды пайдаланушылар ғана осыны белгілей алады.



Сурет 9.22. Бақылау әдістері



9.4.2.2 Сапаны қамтамасыз ету бойынша жоспардың үлгісі

9.5. Даму және жалпы бағыттар

9.5.1. Контекст эволюциясы

- жедел бақылауға қойылатын талаптар.

Бұл *технологиялық* шектеулер болат құрылымдарды механикаландырылған дәнекерлеуде пайдаланылатын қатты дәнекермен дәнекерлеудің немесе дәнекерлеудің кейбір шағын масштабты процестерін, сондай-ақ әлі сәйкес келетін станоктар жоқ кейбір техниканы жояды.

9.5.2 Оң процестер

Жоғары тығыздықтағы жылу ағынымен дәнекерлеу үйкеліс немесе түйіспелі дәнекерлеу үшін сәйкес келмейтін симметриялы емес бөлшектер үшін ең перспективалы болып көрінеді, себебі әсер ететін құрылымдарсалыстырмалы түрде компоненттің шағын бөлігіне ғана қолданылады. 650 HV кезінде қойылмаған мартенситтің бірнеше ондық миллиметрден тұратын жолаққа үйкелумен дәнекерленген биметалл клапандарының мысалы балқытылған қабаттың қалыңдығын айтарлықтай азайтудың артықшылығы болып табылады., азайтылған әсер ету аймағы дәнекерленетін беттер арасындағы тығыз байланысты қамтамасыз ету үшін бөлім бетін нақтыланған тегістеумен және жеткілікті пластификациямен сүйемелденуі тиіс. Контактінің дәлдігі, негізгі металды балқытуға жақын температуралардың локализациясы арасындағы табысты компромисс және пластификация - контактінің бетін рекристалдау легирленген (немесе легирленбеген) болат компоненттерді дәнекерлеуге арналған автоматты қондырғылар үшін негізгі рөл атқарады.

Өндірістің дамуы тұрғысынан (YAG немесе диодты батареялар) жинақы лазерлерден көп нәрсені күту керек, өйткені олар қымбат техникалық қызмет көрсетуді көздемейді.

Естеріңізге сала кетейік, қуатты лазерлік диодтың негізін бірқатар диодтар (0,1×0,6×10 мм) құрайды, олар таратын шоғырды сәулелендіреді (90° және 20°). Әдетте, мұндай қатар толқын ұзындығы 900 нм-ге жуық 30 Вт сәуле шығарады. Шығудағы жалпы қуатты арттыру үшін қатарлар жинақталады, ал сәулелің алшақтығы қатармен тікелей байланысты тиісті микрооптиканың көмегімен түзетіледі. Осылайша, қуаты 300 Вт, шақпақ көлемінде өте қуатты, бірақ шағын құрылғылар жасауға болады.

Қазіргі уақытта 4 кВт дейін үздіксіз қуат фокалды нүктеде 3,104 Вт/см² қуат тығыздығын қамтамасыз ете алады. Жалпы электр тиімділігі 10-нан 20 000 сағатқа дейінгі ұзақтықта 30%-ды құрайды. Қазіргі уақытта Экс-ла-Шапельде Лазерлік Техника Институтында қуаты бірнеше кВт және ұзақтығы 25 000 сағаттан астам болған кезде қуаты 106 Вт/см² тығыздығына жету бойынша жұмыс жүргізілуде.

Осылайша, нарықта өткізу мүмкіндігі өте үлкен. Мұндай жылу көздері геометриялық құрылымдардың кең ауқымы үшін және бақыланатын дисперсия процесімен жоғары дәлдікпен байланыс сатысын және бөлім шекарасын пластификациялауды орындайтын роботталған құрылғылармен қосылады. Мұндай автоматты машина лазер көзіне қарағанда әлдеқайда қымбат.

Дәлдік, инвестициялық және операциялық шығындардың төмендеуі тікелей әсер ететін плазмалық шамдарды пайдалануға кедергі келтіреді, доғалық позициялау дәлдігі соққы доғасының доғауларына қарағанда жоғары болады.

Екінші жағынан, жақын арада диффузиялық дәнекерлеу технологиясын басқа тәсілдермен дәнекерлеу қиын микромеханикадан және қорытпалардан тыс кеңейту екіталай.

Джоулдің әсерінің көмегімен дәнекерленген қосылысы құбырларда бекітулерді дәнекерлеу үшін шектеу болып қалады, бірақ пластикалық түрленуден және TRIP мартенситтерінде жақсы тұтқырлықтан пайда ала отырып, қайта кристалданумен немесе онсыз дәнекерленген металл көпірді құру үшін нақ қажет екенін білуді жақсартуға тиіс.

Ақырында, көп мақсатты роботталған қондырғылардың даму перспективалары бізді механикалық компоненттер үшін белгілі бір металлургиялық шешімдерді қайта қарауға немесе дәстүрлі бөліктерді жинау сұрағына қоюға мәжбүрлеуі мүмкін.

Бірінші мысал: механикаландырылған дәнекерлеумен дәнекерленген алдыңғы үш бұрышты иінтірегі табақ болаттан жасалған аспа

Аспаның иінтірегі доңғалақтың осін дөңгелектің шанағымен шар қосылым арқылы тік қозғалуға жол бере отырып қосады. Ол бойлық күштерге (үдеу, тежеу) және майысудағы бүйірлік күштерге қатысты аспаның қатандығымен байланысты. Табақ болаттан жасалған

шешімді ілу үнемді иінірегін әзірлеу кезінде шыңдалған болаттан артық, бірақ ең жаңа болат сорттарының (жоғары берік табақтар немесе тот баспайтын болат) неғұрлым жоғары механикалық беріктігінің артықшылықтарын пайдалану қиынға соғады, өйткені шаршаған жарықтар жүйелі түрде дәнекерленген жіктің дағынан басталады. Жобалау кезінде білікшелерді жоғары кернеулі аймақтан жылжыту қажет, бұл жиі жоғары жүктеме компоненттеріне қиын болады. Әсіресе, ең локализацияланған дәнекерлеу мен қатайтуды байланыстыратын орнату қолайлы болар еді.

Екінші мысал: біліктерде тістегершіктің қатты дәнекерімен дәнекерлеу және балқыту

Салмақтың төмендеуі мен үнемділік тұрғысынан механикалық өңделген біліктің тістегершігі бар, артық бұрмалаусыз әрең айдалып, алдын ала дайындалған және шыңдалған тістегершіктерді құрастыруға мүмкіндік қызықты болар еді, олар дәнекерленуі немесе бос оське дәнекерленуі мүмкін. Бұрандалы ілінісу жүйесіне, оське және майысуға түсетін жүктемеге байланысты жұмыс процесінде дәнекерленген немесе дәнекерленген бет бетінің шекараларының беріктігіне сынауға ерекше назар аударылады. Дәнекерлеу кезінде жұмсаруды болдырмау үшін бұл рәсім цементтеудің алдында және бірнеше жоғары температурада жүргізілуі тиіс.

Ақырында, дәнекерлеудің барлық жағдайларында біз екі баламаға тап боламыз. Бір жағынан, біз геометриялық дәлдіктегі кемшіліктерге (техникалық немесе экономикалық себептер бойынша) немесе дәнекерленетін беттерді дайындауға байланысты бөлім беттерін күрделі тегістеуге ие боламыз. Екінші жағынан, металл мен энергияны жіктерге мол жіберу оларда пайда болатын ақаулар мен құрылымдарға байланысты ірілендірудің тәуекеліне алып келеді. Бөлшектердің жоғары дәл механикалық өңделуі қатты фазада дәнекерлеу өте үлкен мәнге ие болады.

9.6 Қорытынды

Біз дәнекерлеу қажеттіліктеріне сүйене отырып, алдыңғы тарауларда зерттелген конструкциялық болаттарды машиналық дәнекерлеу және кең балқытылған аймақтары бар дәстүрлі дәнекерлеуге жарамсыз қоспаланған болаттан жасалған механикалық компоненттерді құрастыру арасындағы айырмашылықтарды атап өттік. Біз сондай-ақ циклдің ұзақтығы, Автоматтандыру және сапаны бақылау тұрғысынан жаппай өндіріс талаптарын анықтадық.

Бұл ретте балқытылған металдың кем дегенде пайдаланылатын дәнекерлеу процестері бөлімнің беттерін дәл тегістеумен және механикалық әрлеумен үйлесімді болады. Олар көбінесе металлургия тұрғысынан (ұдайы өндіру, шөгудің және кеуектіліктің төмен деңгейі, қалдық кернеулерді ең жақсы бақылау және т.б.), процесс (автоматтандыру) және сапаны тексеруді жеңілдету тұрғысынан ең қолайлы болып көрінеді. Бөлшектердің осы санаттарында түпкілікті термоөңдеу өте жоғары қоспаланған қорытпалармен байланысты суық жарықтардың пайда болу қаупін азайтады.

Үйкеліспен дәнекерлеу-бұл цилиндрлік форманың барлық компоненттеріне қатысты жоғары қоспаланған болат немесе күрделі қорытпалар үшін типтік процесс. Оның иелігінде ірі партияларды өндеуге қабілетті калибрленген өндірістік станоктар бар. Термиялық өндеуге ұшырамаған өте қатты мартенситтің жұқа қабаты бар үйкеліспен дәнекерленген биметалл клапандарының мысалы балқытылған қабаттың қалыңдығын айтарлықтай азайтудың металлургиялық артықшылығын көрсетеді.

Соңғы уақытта Джоуль әсерінің көмегімен түйіскен дәнекерлеу құбырлы бөлшектердегі басқа операцияларды біріктіруге мүмкіндік беретін автоматтандырылған станоктарда мүмкін болды.

Диффузиялық дәнекерлеу стандартты станоктарда оны пайдалануды ұсыну үшін жаңа әзірлеме болып табылады. Дегенмен, оны дәнекерлеудің аса қиын жағдайлары кезінде соңғы құрал ретінде қарастыруға болады, онда байланыстың бетін тегістеуде және тазалауда дәлдіктің жоғары дәрежесі жеткілікті рекристалдануға, қарсы диффузияға және сырғу кезінде микроскопиялық қысымға жол береді. Ол дәнекерлеуге келмейтін темір

қорытпаларды жинау үшін ықтимал қызықты шешім болып көрінеді.

Белгілі бір әдістердің арасында, тек қана ұсынылған және дәстүрлі доғалы дәнекерлеумен, жоғары қоспаланған болаттарға бейімделмеген, біз жоғары энергетикалық байламдарға негізделген дәнекерлеу процестерін табамыз: олар әсер ету аймағында "металлургиялық зақымдануды" шектей алады, бұл қасиеттердің жалпы көрінісі үшін ешқандай салдары жоқ. Ең аз толқын ұзындығындағы (сәулеленудің оңтайлы сіңуі үшін) жұмыс істейтін жаңа лазерлер үлкен шығындарды қажет етпейді, теңшеуде қарапайым және қызмет көрсетуде үнемді, әдетте ең перспективалы болып саналады. Осы жағдайда электрондық сәулелік дәнекерлеу қалың бөлшектерге, ұзын дәнекерлеу жіктеріне немесе қысым ыдыстарына жабуға арналған болуы керек. Сонымен қатар, тікелей әрекет ететін доғасы бар плазмалық пистолет механикалық компоненттерге және орташа дәнекерленген қосылыстарға жарамды.

9.7 Қолданылған әдебиеттер тізімі

- [AWS] American Welding Society, Welding Handbook, 8th edition, Section 1.
- [BON 87] BONNET C., "Traitements thermiques associés au soudage des aciers", Techniques de l'ingénieur, B 7810, 1987.
- [BOU 82] BOURGEOIS P., Soudage à l'Arc Tome 3, Procédés avec fil électrode fusible, procédés avec électrode réfractaire, Publication de la Soudure Autogène, Paris, 1989.
- [BOU 92] BOURGES P., BERNIOLLES J., "Laser beam welding of high hardness steels: applications to armoured vehicles", ICALEO' 92, Laser Institute of America, p. 574-583, 1992.
- [BOU 95] BOURGES P., CHEVIET A., "Soudage par faisceau d'électrons d'aciers au chromemolybdène de forte épaisseur pour application en pétrochimie", Colloque AFIAP 1995, Paris, 17 October 1995.
- [CAL 86] CALVO F.A., "Soldadura por diffusion de materiales ferreas", Soldadura, 16, 3, p. 125, 1986.
- [CAZ 93] CAZES R., "Soudage par résistance", Techniques de l'ingénieur, B 7720, 1993.
- [CAZ 94] CAZES R., "Soudage par faisceaux à haute énergie: faisceau d'électrons et laser", Techniques de l'ingénieur, B 7740, 1994.
- [CAZ 95] CAZES R., "Soudage à l'arc", Techniques de l'ingénieur, B 7730, 1995.
- [CAZ 96] CAZES R., "Soudage par fiction", Techniques de l'ingénieur, 7745, 1996.
- [CAZ 97] CAZES R., "Soudage automatique", Techniques de l'ingénieur, BM 7750, 1997.
- [COL 83] COLLECTIF, Welding, Brazing and Soldering Arc Welding of Low-alloy Steels and Ferrous Metals, Metals Handbook no. 6, ASM, 1983.
- [DEB 84] DEBIEZ S., "Détermination des conditions de soudage des aciers faiblement alliés pour prévenir le risque de fissuration à froid", Soudage et Techniques Connexes, May- June 1984.
- [DER 81] DE ROO P., DEVILLERS L., MARANDET B., "Conditions d'amorçage et de propagation d'un défaut localisé dans le métal fondu d'un joint soudé", Quatrième réunion SFM-SIS, May 1981.
- [FAB 83] FABER G., GOOCH T., "Assemblages soudés entre aciers inoxydables et aciers faiblement alliés", Soudage et Techniques Connexes, March-April 1983.
- [FEN 84] FENN J., "Solid phase welding: an old answer to new problems", Metallic Materials Technologies, vol. 16, no. 7, p. 341, 1984.
- [GRA 81] GRANJON H., "Travaux sur le soudage par faisceau d'électrons", Soudage et Techniques Connexes, January-February 1976, May-June 1981.
- [GRA 95] GRANJON H., Bases métallurgiques du soudage, Publications de la Soudure Autogène, Eyrolles, 1995.
- [HOU 91] HOURCADE M., "Le soudage-diffusion à l'état solide", Traitement Thermique – 250-1991, p. 21-29, 1991.
- [LEP 92] LE PAGE G., Soudage-diffusion de l'acier 27 Cr Mo 4 et de l'acier 100 Cr 6, PhD Thesis, CNAM, 1992.
- [LIE] LIEURADE H.P., "Application de la Mécanique de la Rupture à la fatigue des joints soudés", Communication IIS, Ljubljana, September 1982.
- [MAZ 82] MAZUMDER J., "Laser welding, state of the art review", Journal of Metals, p. 16- 24, July 1982.
- [NEG 95] NEGRE J., Le Soudage Electrique par Resistance, Publication de la Soudure Autogène, Paris, 1995.
- [NOE 84] NOEL L., "Brasage", Techniques de l'ingénieur, B 5195, 1984.
- [NOR] NORME FRANÇAISE NF E 83-100: "Construction d'ensembles mécanosoudés – Techniques de soudage", – Partie 1: "Généralités – terminologie – classe de qualité desoudure – étendue des contrôles", – Partie 4: "Fabrication – Contrôle".
- [VAL 83] VALETTE G., CHEVIET A., "Soudage F.E. de l'acier à 2,25%Cr-1% Mo en forte épaisseur", 3e CISFFEL, Lyon, 5-9 September 1983.

10 тарау.

Болат құрылымдарды дәнекерлеу

10.1 Кіріспе

10.1.1 Тарихы

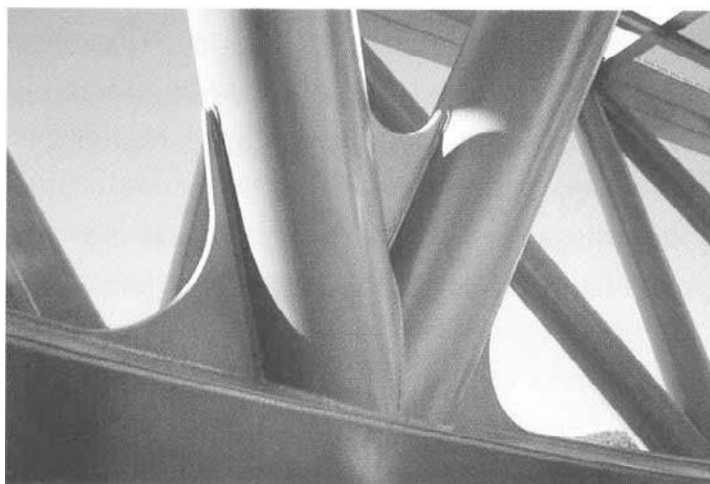
Электр дәнекерлеудің басталуы 19-шы ғасырдың соңымен белгіленседе, ол болат құрылымдарды тұрғызудың салыстырмалы түрде жуырдағы тәсілі болып табылады. Кеме жасау, автомобиль, авиация және қазандық салалар оны тез қабылдады, себебі бұл салмақ төмендеуде елеулі артықшылықтар берді немесе су немесе ауа өткізбеушілік мәселелерін шешті. Титаник 1911 жылы іске қосылды, ал дәнекерленген корпустардың бірінші данасы 1912 жылға жатады.

Құрылыс саласында бірінші толық дәнекерленген металл құрылымдар 1924 жылы АҚШ-та салынған ғимараттар болды, одан кейін екі темір жол көпірі салынды, олардың біреуі 1928 жылы Питтсбургте Терл - Крик үстінде 19 метрге, ал екіншісі-1929 жылы Польшада Лович Слюдвия үстінде 27 метрге созылды.

Францияда азаматтық құрылыстың алғашқы дәнекерлеу объектілері 1936 жылмен белгіленеді: Уазадағы Ауэрскампадағы 40-метрлік автожол көпірі және Париждегі үш өткелдегі 80-метрлік темір жол көпірі (22,5 м екі сыртқы өткел аумағы және 35 м орталық өткел), Де ла Шапель порты. Айта кету керек, соған дейін Францияда ешқашан толығымен дәнекерленген болат ғимараттар салынбаған.



Сурет 10.1. Бильбаодағы жаяу жүргінші көпірі, сәулетші Сантьяго Калатрава, фотосурет CTICM-нен алынған



Сурет 10.2 *Viaduc de l'Arc, TGV Méditerranée – орап бөлшегі.*
Сәулет: SNCF & GAUDIN Architects, фотосурет OTUA-дан алынған

Бұл ерте ірі масштабты дәнекерлеу құрылымдары көп ұзамай проблемаларға тап болды, атап айтқанда нәзік бұзылу құбылысына байланысты (10.5.2-тарауды қараңыз).

Американдық дәнекерлеу қоғамы (AWS) 1922 жылы *Дәнекерлеу бойынша бірінші нұсқаулықты*, содан кейін 1928 жылы *Ғимараттардың құрылысында балқытумен және газ жалынымен кесу дәнекерлеуге арналған кодексті* және 1936 жылы *Балқытумен автомобиль және темір жол көпірлерін жобалау, салу, қайта құру және жөндеуге арналған сипаттамаларды* жариялады.

Француз құрылыс өнеркәсібі үшін *электр доғасымен дәнекерленген болат құрылымдар мен көпірлерді орындау жөніндегі уақытша нұсқаулықтары* бар бірінші циркуляр 1934 жылдың шілдесінде жарияланды. Бір жыл өткен соң, тәжірибелі деректердің сенімді нәтижелеріне орай, қайта қаралған циркулярда "уақытша" термині алынып тасталды және осы техниканың бірінші әзірлеуін тиімді көрсете отырып, дәнекерленген қосылыстар үшін рұқсат етілген жүктемені арттырды.

10.1.2. Қолдану салалары

Дәнекерленген болат құрылымдармен жұмыс істеуге кіріспес бұрын, олар пайдаланылатын аймақтарды кеңейту қажет.

Құрылымдардың үлкен әртүрлілігіне байланысты нақты және толық анықтама беру өте қиын.

Мысал ретінде біз қарастыра аламыз:

- ауыл шаруашылығы құрылыстарының, жылыжайлар мен астық қоймаларының қаңқалары;
- өнеркәсіптік объектілер;
- кеңселер немесе тұрғын үй-жайлар ретінде пайдаланылатын ғимараттардың қаңқалары;
- жол немесе темір жол көпір құрылымдары және жаяу жүргіншілер көпірлері;
- бұрғылау мұнай кәсіпшілігі қондырғылары сияқты теңіз платформалары;
- жоғары вольтты желілердің тіректері, телекоммуникациялық тіректер, көтергіш қондырғылар және түтін жолдары.

Күрделілігі әртүрлі деңгейдегі бұл құрылымдар ең түрлі әсерлерге (тұрақты қосымша

жүктемелерге, статикалық немесе динамикалық жүктемелерге, климаттық және термиялық әсерлерге, мүмкін сейсмикалық құбылыстарға және оттың әсеріне), сондай-ақ жеке қауіпсіздікке қатысты әртүрлі талаптарға да ұшырайды, бұл қосымша осы әртүрлілікті кеңейтеді, сондай-ақ жұмыс аумағындағы конструкцияның ішкі ерекшеліктерімен сипатталуы мүмкін.

Ақырында, бір құрылымда ыстықтай илектелген сорттық прокатты (негізінен, I, H және U-тәрізді жиектерді дайындау), құбырларды, табақтарды немесе болаттан жасалған кең жолақты элементтерді (құрастыру бөліктері мен дәнекерленген екі таврлік профильдер немесе қорапты қималар) пайдалануға сәйкес ерекшеліктерді назарға алу қажет.

Бұл жалпы конструкция үшін жарамды жалпы ережелерді тұжырымдауға нақты мүмкін еместігін атап көрсетеді; тек нақты ережелер түрлі аспектілермен іске мүмкіндік береді.

Қолданыстағы қағидалар 61 буклетте, V тақырып (Металл көпірлер мен құрылымдарды жобалау және есептеу) және металл көпірлерге арналған 66 буклетте (Болаттан жасалған азаматтық құрылыс құрылыстарын орындау), сондай-ақ MC 66-да (Болат құрылымдарды есептеу ережесі) және ғимараттар мен басқа да жұмыстар үшін NF R22-XXX сериялы құрылыс нормалары келтірілгенін атап өту қажет. Бұл құжаттар, әрине, еуропалық стандарттармен, тиісінше, Eurocode3 (болат құрылымдар) және Eurocode 4 (композиттік болат және бетон құрылымдар) жобалау және есептеу үшін, сондай-ақ ғимараттар, көпірлер, қуыс профильдер және тот баспайтын болат үшін жалпы ережелер мен ерекше нұсқауларды қоса алғанда, құрылымдарды орындауға қатысты EN 1090 стандартымен алмастырылады.

10.2. Болат құрылымдарға арналған болат

10.2.1. Сорт және сапа

Болат құрылымындағы құрылымдық болаттың сорты, ең алдымен, үш негізгі механикалық сипаттамамен анықталады: ағымдылық шегі (элементтің беріктігін тексеру үшін пайдаланылатын негізгі критерий), үзілуге беріктілік шегі және бұзылғанға дейін созылу күші. Бұл сипаттамалар бір осьтік жүктемеге жатады.

Белгілі жағдайда көпбілікті кернеу болған жағдайда материал беріктігін дәстүрлі түрде анықтаған кезде тиімді деп есептелетін, кернеуге қарағанда анағұрлым аз көрсеткіштердің аздап үзілу қаупі тууы мүмкін. Бұған қоса тұрақтылықпен қатар қарастырылып жатқан құрастырма және оның техникалық жағдайына, қолданыстағы болжалды жағдаяттарға (тоңазытқыш камералары не көпірлердегі 30 ° C-ге дейінгі температура сияқты) сәйкес аталған қатер мүмкіндігін бақылау арқылы қауіпсіздікті қамтамасыз ету қажет.

Бір сынама шегінде негізгі механикалық сипаттамалары ұқсас болған жағдайда да қолдану мен қызмет көрсетудің белгілі бір жағдайларында туындауы ықтимал қауіпке қатысты қосымша кепіл бола алатын сапа түрлері анықталады.

Сынғыштыққа қарсы тұру, яғни соққы тұтқырлығының негізгі өлшемі тілім әсеріне қатысты сезімталдық болып табылады. Ол материалдың жүк түсу немесе соққы әсерінен энергияны сіңіріп алу арқылы қалпын өзгертуге көп немесе аз мөлшердегі бейімділігімен анықталады. Бұл соққы барысындағы ауытқуға қатысты сынақ жүргізілетін Шарпи тесті деген атпен белгілі тәжірибе кезінде анықталады.

10.2.2. Қолданыстағы болат

Құрастырмалардың біразында NF EN 10025-2 стандартына сәйкес келетін қоспасыз болат қолданылады, оның механикалық сипаттамасы мынадай:

- үзілу кезіндегі беріктік шегі 235 пен 355 Н/мм² шамасында,
- созылу беріктігі 340 пен 630 Н/ мм² шамасында,
- шытынауға дейін созылу деформациясы берілген қалыңдықта 20%-дан асады,
- жетіспейтін КВ қуаты +20°С не -20°С кезінде - 27 Дж.

Сонымен қатар NF EN 10155 стандартына сәйкес арнайы қолданыста жемірілу сипаттамасы жақсартылған болатты пайдаланамыз; оның механикалық қасиеті бірдей болып келеді.

Бұған қоса ұсақ түйірлі болат көбіне NF EN 10025-3 стандартына сай келетін құрылыс жобаларында қолданылады, оның сипаттамасы мынадай:

- беріктік шегі 275 пен 460 Н/мм² шамасында,
- созылу беріктігі 350 мен 720 Н/мм² аралығында,
- созылу деформациясы 17 мен 24%,
- жетіспейтін КВ қуаты -20 кезінде 40 Дж, ал – 50°С кезінде тіпті 27 Дж болады.

Ерекше қолданыс мақсатында (10.5.1.1 тарауын қар.) болаттың мұндай түрлерін NF EN 10025-5 стандартына сәйкес бұйым бетіне перпендикуляр келетін деформациялық қасиеттері жақсарған күйде алуға болады.

Қолданылып отырған болаттың аққыштық шегі 235 Н/мм²; ол көп жағдайда арқалық, темір арқау және тегіс металл табақ сияқты құрылыс құрастырмаларында пайдаланылады.

Аққыштық шегі жоғары болат (HSS) 355 Н/мм² көрсеткішіне тең не одан артық шекті қамтиды. Оларға, ең алдымен, болат табақшалар жатқызылады.

NF EN 10025-4 стандартына сәйкес, термомеханикалық жұқарту нәтижесінде алынатын ұсақ түйірлі болаттың жоғары сұрыптары едәуір қалыңдықта (80 мм-ден астам) азаматтық құрылыс пен мұнай теңіз платформаларында жиі қолданыс табуда, оған келесі факторлар ықпал етеді:

- болат құрастырмаларда қолданылатын қоспасыз болатқа қарағанда барлық үдеріс кезінде алдын ала қыздыруды қажет етпей дәнекерлеуге бейімділігі (қатты сымдарда жүретін MAG-үдерістен басқа). Сутегіні шектеу үшін (Суықтан шытынаууды болдырмау туралы 10.5.1.2 тарауын қар.) алдын ала қыздыру керек (10.5.3.1 тарауын қар.);

- жақсартылған иілімділік (өте төменгі температуралар кезіндегі соққыдан бұзылудың жоғары қуаты).

10.3. Болат құрастырмаларда дәнекерлеу үдерістері мен жолдары

Дәнекерлеу үдерісінің көптеген түрлері бар, оның барлығы қолданыс тапқан. Төменде келтірілген кестеде түрлі үлгілік үдерістер мен олардың сипаттамалары берілген, ал техникалық белгілерін аталмыш кітаптың 1-тарауынан қарауға болады.

10.3.1. Үлгілік үдерістер кестесі

Дәнекерлеу үдерістері	Нысан		Процедура				Өнімді лік	Бақылау мәліметтері
ISO 4063 Сәйкес	шеберхан а	нысанд а	қолмен жасалаты н	жартыла й автомат.	авто	робот	шығу	
111: Металл электродпен имектеп дәнекерлеу жабынмен	X	X	X				+	Рутил жабын (ағымдағы қолданыс) немесе негізгі жабын (HSS)
135: MAG- дәнекерлеу	X			X	X	X	++	Қысуға қатысты сезімталдық Балқытпаның жетіспеу қаупі
136: Экрандалған белсенді газбен түтікті имектеп дәнекерлеу	X			X	X		+++	Қысуға қатысты сезімталдық Барлық күйде қолдану
114: Түтікті өзекшемен өздігінен экранадап имектеп дәнекерлеу		X		X			+++	Жіңішке жиіктемені өңдеуде қолдану Көп бу
121: Қождама бірсымды электродпен имектеп	X	X			X		++++	Тереңдеп ену Тек көлденеңнен

Бөлшектердің қалыңдығы тым жоғары болғандықтан, нүктелік, аргонимектелген TIG немесе лазерлік сияқты басқа дәнекерлеу үдерістері әдетте қолданылмайды.

10.3.2. Алдын ала өңдеу: технологиялық тігіс

Бұл технологиялық үдеріс барысында бөліктерді біріктіру қажет, олар дәнекерлеу тігісін жасамас бұрын қысқа үзік-үзік білікшелермен бекітілуі тиіс. Шын мәнінде, бұл мұқият жұмыс

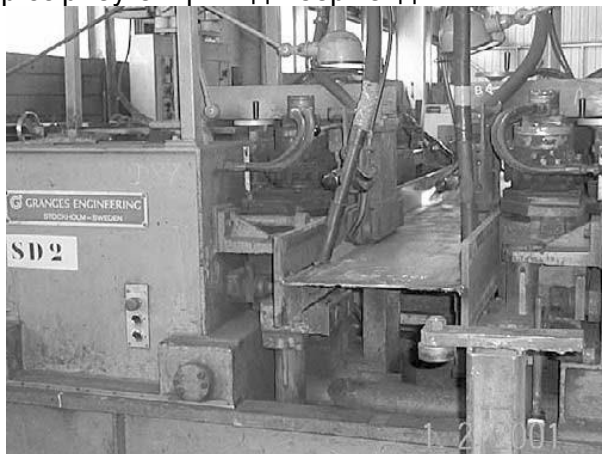
қарапайым болып көрінгенмен, біршама ептілкті қажет етеді. Бұның үстіне оны алғашқы жұмыстарды (қоспа материал, тексерулер, алдын ала қыздыру немесе дәнекерлеуден кейінгі термоөңдеу және т.б. (10.5.3 таруын қар.)) атқару кезіндегі барлық сақтық шараларын орындау қажет.

Басқа құрастырмаларда «іліндіріп» дәнекерлеудің айрықша қиындығы бөлшектердің тым ұзын (бірнеше метрден бірнеше ондаған метрге дейін) не тым қатты болуына байланысты.

10.3.3. Дәнекерлеудің ерекше әдістері

10.3.3.1. Орындық үстінде көлденеңнен дәнекерлеу

Биіктігі бірдей немесе аздап реттелетін қоставрлы арқалықтарды жасауға арналған құрастырма дайындау үшін қабырғаның бір жағында екі білікше істейтін екі дәнекерлеу бастиегі болады (121-үдеріс), мұндай арқалықтар орындыққа ұқсас келеді: оның жазық тақтайшасы қабырға тәрізді жасалады, ал екі тік белдемесі тақтайша шеттерінде тігінен орналасады. Өзге екі білікше құрастырма аударылғаннан кейін дәнекерлеп жабыстырылады. Мұндай жабдықты жасау үшін біршама кең орын қажет, үстелдің төсем өлшемі шектеулі болады әрі иілген бөлшектер әзірлеуге мүмкіндік бермейді.



10.3 сурет. Көлденең стендтегі I секцияның құрылысы, Baudin-Châteauneuf-мен алынған фотосурет

10.3.3.2 Орындық үстінде тігінен дәнекерлеу

Бұл – тұрақты немесе ауыспалы биіктіктің тік сызықты не иілген (жоспар бойынша) I қимасын әзірлеуге арналған машина: орындықта ағым үстінде белдеме орналастырылады, төсем иінтіреккөмегімен тігінен бекітіледі; аталған торап тігіс пен белдеме арасында тағы тігіс салу үшін гидравликалық көтергіш және екі дәнекерлеу өзекшесімен жабдықталған портал астында орнайды (121- процедура). Осылайша жасалған Т-тәрізді торап аударылып, екінші белдеменің үстіне салынған күйі бірінші процедурадасияқты дәнекерленіп жабыстырылады.



10.4 сурет. Тік стендтегі II секцияның құрылысы, Baudin-Châteauneuf-мен алынған фотосурет

10.3.3.3. Істіктерді дәнекерлеп жабыстыру

Аталмыш тәсіл шеберханада не композитті темірбетонды құрастырма нысанында қатты бетон еденмен бірігу үшін болат арқалықтардың қосылатын бөлшектерін (диаметрі 6-22 мм аралығында) дәнекерлеу мақсатында қолданылады. Ол *дәнекерлеу пистолетімен* орындалады, электр тоғы берілген соң пистолет істігі доға түзіп, дәнекерлеу ваннасына қысылып шығарылады.



10.5 сурет. *Істіктерді дәнекерлеп жабыстыру: қосылыс элементтерін дәнекерлеу—Боден-Шатонефтен алынған фотосурет*

10.3.3.4 Алюминотермия

Бұл тәсіл нысандарда көпірлі крандарға арналған рельстер тізбегін қосу үшін пайдаланылады.

Темір тотығын алюминиймен қалпына келтіру арқылы алынатын қоспа материал қосылыс түзу үшін тиісті формада сұйық күйі босатылады.

10.3.4 Дәнекерлеу кезіндегі типтік қалыптар

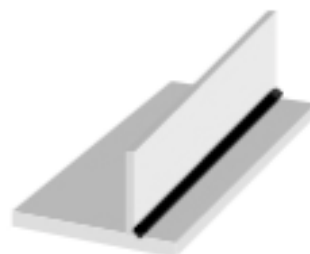
Дәнекерлеу қосылыстары тұрғысынан алғанда дәнекерлеу жігінің түрлі типтері болады.

Шеберханада көбіне бұрыштық және түйіскен тігіс қолданылады (10.6 суретін қар.), олардың жиі кездесетін позициялары төмендегідей:

- тегіс білікше (тігіс салыстырмалы түрде қоспа металл үстінен салынған беті көлденең күйде болады);
- бұрыштық көлденең білікше (салыстырмалы көлденең жазықтықта орналасқан салыстырмалы тік жазықтық).



Тегіс білікше



Бұрыштық көлденең білікше

10.6 сурет. *Әдетте қолданыс тапқан дәнекерлеу тігістері*

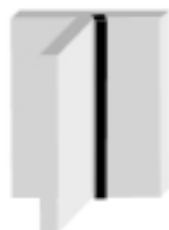
Сонымен қатар нысанда мынадай білікшелерді көреміз (10.7 сурет):

- тік білікше (салыстырмалы тік білік);
- жоғарғы білікше (салыстырмалы көлденең жазықтық пен төменнен жағылған қоспа

материал).

10.3.5 Жиектемені өңдеу

Таңдалған жұмыс түріне сәйкес белгілі бір қалыңдыққа қол жеткізген соң қиылған ернеу жасау арқылы металл табақшаны жиектеуге дайындау қажет, бұл жұмыс дәнекерлеу жігінің жете балқытылуына мүмкіндік береді.



Тік білікше



Төбе тігісімен дәнекерлеу

10.7 сурет. Монтаждық дәнекерлеудің көпшілікке танымал позициялары

Дәнекерлеуге дайындаған материал қалыңдығына байланысты түйіскен дәнекерлеу тігістерінде негізінен дайындық жұмыстарының екі түрі жүргізіледі:

- қалыңдығы аз, яғни 6-12 мм аралығындағы диапазонға арналған V-тәрізді пішін,
- 12-100 мм аралығы, бұдан да артық болатын орташа және едәуір қалыңдыққа арналған екі еселенген V-тәрізді пішін.

V-тәрізді немесе екі еселенген V-тәрізді дайындаманың бұрыштары бөлшектердің қалыңдығы мен дәнекерлеу үдерісіне байланысты өзгереді. Бұл препараттарда әдетте жиектеме мұқалады..

Өсіресе жұмыс аумағында төбе жігімен дәнекерлеуді неғұрлым азайту үшін екі еселенген V-тәрізді пішінді жиектемелерді өңдеу ассиметриялы түрде жүруі мүмкін.

Жиектемелерді K-тәрізді өңдеу (симметриялы не, керісінше) екі еселенген V-тәрізді пішінді жиектемелерді өңдеудің баламасы ретінде қарастыруға болады, басым тұсы тек бір жақ шетті дайындау қажеттігінде.

Бұрыштық дәнекерлеу жігі жағдайында дәл сондай дайындық жүреді, V немесе екі еселенген V қиманы қалпына келтіру не болмаса дәнекерлеу жігін толық балқыту қажет болғанда байқалады.

Жиектемелерді былай өңдеу негізінен жіңішке бөлшектерді тегістеу немесе басқа жағдайларда қолдан не автоматты термиялық кесу арқылы орындалады.



V-тәрізді пішін



Екі еселенген V-тәрізді пішін



Жиектемелерді K-тәрізді өңдеу

10.8 сурет. Жиектемелерді дайындау

10.4 Дәнекерлеу деформациясы

Жоғарыда айтылғандай, дәнекерленетін қалыңдық салыстырмалы мәнге ие болады.

Нәтижесінде келіп тұрған жылу артады, металдың жақсы өткізгіштігін ескерер болсақ, бұның салдарынан бөлшектер қызуға ұшырайды.

Жылу шығынының аталмыш әсерін шектеу қажет, себебі ол ары қарай түзетуді қажет ететін бұрмалауға әкеп соғатын кернеу тудырады.

Бұрмалаудың келес түрлері белгілі:

- көлденеңнен және тігінен шөгуге әкелетін тасымал,
- жазу әсері және майыстыру/ бұғу әсері бар айналмалы бұрмалау.

Аталған кернеуді сіңіріп отырған металл иілгіштігінің аз болуы шытынау нәтижесінде бұзылуға әкеп соғуы мүмкін екенін ескеру қажет.

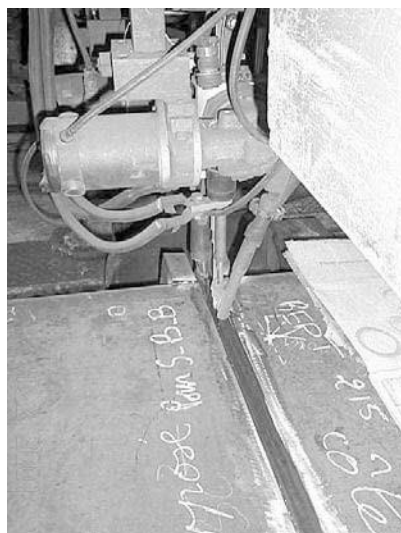
10.4.1 Сақтық шараларын орындау

Бұрмалау мен олардың салдарын неғұрлым азайту үшін бірнеше шара қодануға болады, қажет болған жағдайда оларды біріктіруге болады:

- төмен желілі жылу келтірілген дәнекерлеу үдерісін таңдау, мысалы, балқымалы электродпен аргонимектепмеханикалық дәнекерлеу, түтікті металл имекпен дәнекерлеуді таңдаған дұрыс;
- есептеу ережелер мен тиісті тәжірибеге сәйкес дәнекерлеу тігістерінің ұзындығы мен қимасын барынша азайту (сонымен қатар бұл экономикалық тұрғыдан тиімді);
- дәнекерлеудің симметриялық үлгілерін іздеу; кері бағытталған шөгу бұрмалауға ұшырамайды;
- тепе-теңдік бұзылмау үшін бір мезгілде қарама-қарсы дәнекерлеу тігістерін салу;
- *дәнекерлеу бірізділігі* терминімен аталған дәнекерлеуді орындау тәртібін жақсарту, онда төмендегі ережелер сақталады:
 - еркін ік шөгумен дәнекерлеу,
 - бір мезгілде жұмыс істеп жатқан операторлардың симметриялы дәнекерлеуі немесе симметриялы (немесе соған жақын) үлгіні кезекпен сақтап отырған тек бір оператордың жұмыс атқаруы,
 - кері бағытталған алдын ала бұрмалау жағдайында қатты құрамадағы бөлшекті қысу.



10.9 сурет. Екі еселенген V-тәрізді жиектемесі бар көпір арқалығы – Боден-Шатон нефтен алынған фотосурет



Сурет 10.10. Түйіскен дәнекерлеу жігі – Боден-Шатоннефтен алынған фотосурет

10.4.2 Түзету

Орындалған сақтық шараларына қарамастан бұрмалауды түзеу керек болса, ол жалынмен түзету немесе металл арқауды гидравликалық керу не баспаққа салу арқылы механикалық жолмен орындалуы мүмкін.

Жылуды белгілі бір бөлікте қолдану көп жағдайда бұрмаланған элементтің ақауларын дұрыстаудың жалғыз әдісі болып табылады. Ол үшін белгілі бір бөлікті шамамен 600°C-ге жеткізіп өте қатты қыздырамыз, осылайша суу кезінде қысу күші пайда болып, элемент түзеледі. Бұл процедура қыздыру кезіндегі температура шектерінен хабардар болуды қажет етеді, ол болаттың сұрыптамасы мен қалыңдығына байланысты, сонымен қатар HYS сұрыптамасының болаты аталған тәсілді қолдану кезінде сақтық шараларының анағұрлым қатаң сақталу қажеттігін ескерген дұрыс.

10.5 Ақаулар және оларды болдырмау

Біз кеуектілік жарықтар, бос кеңістік, қоспалар, балқымай қалу және бөлшектердің бір-біріне еніп тұруы сияқты дәнекерлеу жігінің әдеттегі кемшіліктерін немесе пішін ақауларын аталған жұмыстың өзге тааруларында кеңенен талқыланып жатқан бұйым туралы жаднама ретінде еске аламыз.

Дегенмен болат құрастырмаларда қолданылатын алдын ала боялған болатта кеуектену қаупі жоғары екеніне назар аударған жөн. Мұндай жағдайда әсіресе бояуды алдын ала кетіруді қажет ететін сезімтал құрамалардың білікшелі жігінде мұқият болу керек.

Ең алдымен, біз болат құрастырмалардағы металлургиялық ақауларды көрсетіп, аталған қауіпті болдырмауға қажетті сақтық шараларын нұсқаймыз.

10.5.1 Жарықтар

Олардың екі түрін бөліп көрсетуге болады: тік жарықтардың пайда болуы және суықтан жарылу салдарынан туындаған жарықтар.

10.5.1.1 Тік жарықтардың пайда болуы әсерімен туындаған жарықтар

Мұндай жарықтар дәнекерлеу жігі мен прокат қамтамасында қатар пайда болады, осылайша материалдың қалыңдығына күш түсіреді.

Бұл қауіпті болдырмаудың негізгі жолдары:

- еркін шөгуді жеңілдету үшін өнімнің сыртқы қаптамасына перпендикуляр бағытта күш түсірмей отырып тігіс жасау;
- толықтырушының қоспа материалын таңдау негізгі металға жақын аққыштық шегіжәне сыртқықаптамаға перпендикуляр күш түсуді азайта алатын жұмыс жағдайына байланысты болады;
- қалыңдықты азайту аталған қауіпті азайтуға қатыссыз екенін біле тұра, жазықтыққа перпендикуляр деформациялық қасиеттері сөзсіз жақсартылған табақшаларды пайдалану.

10.5.1.2 Суықтан шытынау

Олар әдетте балқыту сызығына параллель орналасып, орнына байланысты түрлі пішінге енеді: түбі, қосылым немесе өткелер арасындағы қосылым, білікше асты. Ең алдымен, бұның үш себебі болады:

- дәнекерленетін жердегі едәуір қысатын және шөктіретін кернеу; құраманы құру және дәнекерлеу жігін салу ретін таңдау қауіпті барынша азайтуға мүмкіндік береді;
- металды балқыту сызығына жақын жерден жіберу; ТӨА-дағы су жылдамдығын шектеу аталған қауіпті азайтудың маңызды параметрлерінің бірі болып табылады;
- білікшеде сутегінің болуы; таза әрі құрғақ бөлшектер, жақсы пісірілген қоспа материалдары, сутегі аз электродтарменылғал көп орта – всеэтноснижает риск.

10.5.2 Бұзылу

10.5.2.1 Морт сыну

Морт сыну иілмелі бұзылуға қарағанда иілмелі деформациясыз өтеді және алдын ала болған едәуір иілмелі деформациядан кейін баяу пайда болады.

Бұл құбылысқа деген тігіс сезгіштігі мынаған байланысты:

- қолданыстағы болат: оның аққыштық шегі мен шынайы тұтқырлығы;
- бөлшектер қалыңдығы;
- күш түсіру жылдамдығы, кернеу деңгейі мен сипаты;
- ең төменгі жұмыс температурасы.

Бұған қоса қауіптің алдын алу үшін:

- жиектемелі қатайту жұмыстарын шектеу қажет, себебі бұл иілгіштікті төмендетеді;
- тілу сияқты ішіне кіру ақауларымен дәнекерлеу операциялары;
- төмен қуатты дәнекерлеу қажет;
- қажет болған жағдайда, соққымен ықпал ету сияқты дәнекерлеу жігін бейімделген механикалық өңдеу арқылы қалдық кернеуді төмендету.

10.5.2.2 Қажуомырылымы

Ол қосындыға циклдық күш түсіп, қалыпты күйзелуге ұшырағанда, аяқ астынан жарылып сынғанда, бөлшек ұзындығы қатты кішірейтілген не ақауланғанда пайда болады.

Қажу белгілері, алдымен, дәнекерлеу жігі пішінінің мұқияттылығы мен қорытынды өңделуіне байланысты. Бұл құбылыс 6-тарауда қарастырылады.

10.5.3 Басқа да жылуға қатыста және механикалық сақтық шарлары

Жылуға қатыста сақтық шарлары дәнекерлеу кезіндегі үлесті жылу сыйымдылығына қатысты белгілі бір қауіп-қатерді шектеуге мүмкіндік береді.

10.5.3.1 Төмен температурада алдын ала қыздыру

Бұл кезде бөлшек температурасы дәнекерлеу барысында 40 пен 80 °С аралығында болады, ол морт сыну қаупін шектейді.

10.5.3.2 Алдын ала қыздыру

Ол бөлшекті 100-200 °С температурасына дейін қыздырып, суу жылдамдығын шектуге көмектеседі, бұл білікше астында қатайып қалу және суаруға сезгіш болаттың суықтан шытынау қаупін төмендетеді. Ол қалдық кернеудің деңгейін төмендеуіне ықпал етіп, шөгуден кейінгі жыртылуды болдырмайды.

10.5.3.3 Кейінгі қыздыру

Кейінгі қыздыру бөлшектер суымай тұрып дәнекерлеуден соң бірден жасалу керек. Бірдей температура ұзақ тұрған жағдайда бұл алдын ала қыздырудың түрлі бөліктердегі температураны біріздендіру әсерін күшейтеді.

Тұрақты температураны ұстап тұру сутегіні сорып алып, оның масса ішінде диффузиялануына ықпал етеді, бұл суықтан шытынау қаупін азайтады.

10.5.3.4 Жылумен өңдеу

Бұл әдіс бөлшектердің өлшеміне бола болат құрастармаларда өте сирек қолданылады. Дегенмен кернеуді жою үшін әдетте теңіз бұрғылау құрастармаларында құрама түтік түйіндер пайдаланылады.

Жалпы сомлау немесе бытыралы ағынмен тазалау сияқты дәнекерлеуден кейінгі механикалық өңдеу кейде дәнекерлеу қосындыларының төселу беріктігін арттыру үшін қолданылады.

10.6 құрастармаларды қиратпай сынақтан өткізу ерекшеліктері

Дәнекерлеу жігін қиратпай сынақтан өткізудің негізгі әдістері, нақтылап айтқанда сыртынан бақылау, ПВК, магнат бөлшектер әдісі бойынша сынақ өткізу, рентгенография, гаммаграфия немесе ультрадыбыстық сынақтар, сөзсіз, болат құрастармаларға қатысты қолданылады. Аталған дәнекерлеу тігістері негізгі металдан жасалған құрастармаларға тән екенін білсек те, рентгенодефектоскопиялық бақылау білікшелі дәнекерлеу тігістерін зерттеуге сай келмейтінін және ультрадыбыстық сынақтар кезінде бақыланбайтын аймақ тігіс түбінде қалып қоюы мүмкін екенін атап өткен жөн.

10.7 Даму болашағы

Болат құрастырмаларда дәнекерлеуді қолдану жедел дамуда әрі көптеген ерекше қасиеттерінің арқасында үлкен үміт күттіруде. Ең маңыздысы:

- құрастырманың мықтылығы, себебі дәнекерлеу технологиялық нұсқамаларды (WPS) қолдана отырып та, технологияны аттестаттау хаттамасы (WPQR) бойынша да орындалады;
- қосылыстарды оңайлату, кері жағдайда олар атмосфералық коррозияға өте сезгіш келеді;
- қатты сүйеу немесе тұрақты қосылыстар көмегімен құрастырма бөліктерінің үздіксіздігін қамтамасыз ету;
- тұйық бағыттағы құрама;
- анағұрлым қарапайым қоспалар арқасында бағыттарды жақсарту, демек материалдарды үнемдеу;
- күрделі пішіндерді тиімді жасау мүмкіндігі.

ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- [AIH 88] HAZE T., AIHARA S., "Influence of toughness and size of local brittle zone on HAZ toughness of HSLA steels", Proceedings of the 7th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, OMAE 1988, ASME, Houston, USA, 1988.
- [ANS 92] American National Standards Institute and American Welding Society, Standard methods for mechanical testing of welds, ANSI/AWS B4.0-92, 29 June 1992.
- [AST 93] ASTM, Standard test method for crack tip opening displacement (CTOD) fracture toughness measurement, ASTM E 1290-93, 1993.
- [AST 95] ASTM, Standard test method for conducting drop-weight test to determine nil-ductility-transition temperature of ferritic steels, ASTM E208-95a, 1995.
- [AST 96] ASTM, Standard test method for J-integral characterization of fracture toughness, ASTM E 1737-96, 1996.
- [AST 97] ASTM, Standard test method for plane strain fracture toughness of metallic materials, ASTM E 399-90 (reapproved 1997), 1997.
- [BAL 97] BALLADON P., DI FANT M., PONSOT A., "Durete, resistance et tenacite", Les aciers speciaux, Lavoisier, pp. 452-473, Paris, 1997.
- [BAT 00] BATISSE R., "Presentation de la recommandation PD 6493. Application aux conduites de transport de fluides", Seminaire sur la prevention de la rupture dans des joints soudes, Institut de Soudure, 9 March 2000.
- [BLA 96] BLAUDEL J.G., BURDEKIN F.M., "Case study collection on the assessment of the significance of weld imperfections", Welding in the World, 37, no. 4, pp. 194-216, 1996.
- [BLA 97] BLAUDEL J.G., Failure assessment concepts and applications, Doc. IIS - IIW X- 1407-97, 1997.
- [BLO 75] BLONDEAU R., MAYNIER PH., DOLLET J., VIEILLARD-BARON B. "Prevision de la durete, de la resistance et de la limite d'elasticite des aciers au carbone et faiblement allies d'apres leur composition et leur traitement thermique", Mem. Scient. Rev. Metall. pp. 759-769, November 1975.
- [BON 97] BONNEFOIS B., BOURGES P., MABELLY P., DEBIEZ S., BONNET C., ROUAULT P., MAGOARIEC A., TAILLARD R., KAPLAN D. et al., Quelques developpements recents permettant une amelioration supplementaire de la qualite des structures d'aciers soudees, Doc. IIS/IIW IX-1886-97, 1997.
- [BON 98] BONNEFOIS B., BOURGES P., MABELLY P., DEBIEZ S., BONNET C., ROUAULT P., MAGOARIEC A., TAILLARD R., KAPLAN D. et al., "Une amelioration supplementaire de la qualite des structures soudees en acier", Soudage et Techniques Connexes, vol. 52, no. 1/2, January/February 1998.
- [BUR 92] BURDEKIN F.M., "Choix des aciers pour les constructions soudees", Soudage et Techniques Connexes, vol. 46, no. 11/12, November/December 1992.
- [BUR 96] BLAUDEL J.G., BURDEKIN F.M., "Case study collection on the assessment of the significance of weld imperfections", Welding in the World, 37, no. 4, pp. 194-216, 1996.
- [CAM 00] CAMPBELL H.H., Status of the IIW recommendations on fracture control in seismically affected steel structures, Doc. IIS/IIW X-1456-00, 2000.
- [CAR 90] CARMET A., SOCQUET J., "Influence des contraintes residuelles de soudage sur les conditions de rupture d'appareils a pression", Soudage et Techniques Connexes, vol. 4, no. 11/12, November/December 1990.
- [CHE 70] CHEVIET A., GRUMBACH M., PRUDHOMME M., SANZ G., "Comparaison des resultats de divers essais de rupture fragile", Revue de Metallurgie, pp. 217-236, March 1970.
- [COL 97] COLLECTIF, Method of assessment for flaws in fusion welded joints with respect of brittle fracture and fatigue crack growth, Doc. IIS/IIW X-1428-98, 1997.
- [DAW 76] DAWES M.G., "Contemporary measurements of weld metal fracture toughness", Welding Journal, pp. 1052-1057, December 1976.
- [DEF 94] DEFOURNY J., "Soudabilite des aciers produits par laminage thermomecanique ou par refroidissement accelere", Soudage et Techniques Connexes, vol. 48, no. 7/8, July/August 1994.
- [DEV 89] DEVAUX J.C., CARMET A., LEBLOND J.B., "Determination numerique des contraintes et des deformations residuelles dans un joint soude par faisceau d'electrons", Soudage et Techniques Connexes, vol. 48, no. 9/10, September/October 1989.
- [DEV 94] DEVILLERS L., KAPLAN D., TESTARD P., "Prevision des microstructures et de la tenacite des ZAT de soudures", Soudage et Techniques Connexes, vol. 48, no. 7/8, July/August 1994.
- [FOR 00] FORGET P., "Modelisation de la rupture des liaisons soudees bimetallics", Seminaire sur la prevention de la rupture dans des joints soudes, Institut de Soudure, 9 March 2000.
- [FRA 72] FRANÇOIS D., JOLY L., La Rupture des Metaux. Ecole d'ete de la Colle sur Loup, September 1970, Masson, 1972.
- [FRA 92] FRANÇOIS D., Provisional definitive statement of significance of local brittle zones, Doc IIS-IIW X-1246-92, 1992.
- [FRA 96] FRANÇOIS D., "Guidelines for terminology and nomenclature in the field of structural integrity", Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, vol. 19, no. 12, pp. 1515-1533, 1996.

- [FRA 00] FRANÇOIS D., "Aspects probabilistes de la rupture des joints soudés", Séminaire sur la prévention de la rupture dans des joints soudés, Institut de Soudure, 9 March 2000.
- [FRO 82] FROMM K., SCHULZE H.D., Pellini's theory of brittle fracture and the limits of its applicability, Doc IIS - IIW 1011 - 82, 1982.
- [GRU 69] GRUMBACH M., PRUDHOMME M., SANZ G., "Essais dynamiques de rupture fragile avec enregistrement", Revue de Metallurgie, pp. 271-281, April 1969.
- [GUB 99] GUBELJAK N., "Estimation de la ténacité minimale s'assemblages soudés affectés d'une hétérogénéité mécanique (mismatch)", Soudage et Techniques Connexes, vol. 53- no. 7/8, July/August 1999.
- [HOB 96] HOBACHER A., Recommandations pour la conception en fatigue des assemblages et composants soudés, Document IIS-IIW XIII-1539-96/ XV-845-96, 1996 (version française, publication CTICM, October 2000).
- [HOR 00] HORNET P., "Prise en compte de l'effet mismatch dans le comportement mécanique des structures soudées fissurées", Séminaire sur la prévention de la rupture dans des joints soudés, Institut de Soudure, 9 March 2000.
- [JAN 00] JANOSCH J.-J., GORDON R., Residual stress and distortion prediction in welded structures, 4th annual report, Doc. IIS - IIW X-1455-00, 2000.
- [KAL 00] KALNA K., Design of steels structures against brittle failure in different European standards, Doc. IIS/IIW X-1465-00, 2000.
- [KIC 00] KIHENIN J., RAZAKANAIVO A., DESROCHES X., BOIS C., LEJEAIL Y., Tubular welding numerical simulation: Experimental validation, Doc. IIS/IIW X/XV-RSDP-56-00, 2000.
- [KIM 98] KIM Y.J., "Effets d'une hétérogénéité mécanique (mismatch) sur les contraintes locales", Soudage et Techniques Connexes, vol. 52, no. 3/4, March/April 1998.
- [KOC 99a] KOQAK M. et al., "Recommendations on tensile and fracture toughness testing procedures for power beam welds", European Symposium on Assessment of Power Beam Welds, 4-5 February 1999, Doc IIS - IIW X-1445-99, 1999.
- [KOC 99b] KOQAK M., THAULOW C., "Special issue on strength of mismatched welded joints", Engineering Fracture Mechanics, vol. 64, no. 4, November 1999.
- [KOC 00] KOQAK M., DOS SANTOS J.F., "Le soudage et l'assemblage au XXI^e siècle: Soudage laser: tendances dans les applications industrielles et dans l'évaluation de la qualité", Soudage et Techniques Connexes, vol. 54, no. 5/6, May/June 2000.
- [KOC 00] KOQAK M., 7th Annual Report of Sub-Commission X-F Weld Mis-Match Effect, Doc. IIS/IIW X-1457-00, 2000.
- [KOL 00] KOPPENHOEFER K., GORDON R., IIW Round Robin on residual stress and distortion prediction. Phase 1 results, Doc IIW X/XV-RDSP-55-00, 2000.
- [KON 94] KONECZNY H., "De l'utilité des calculs de mécanique de la rupture", Soudage et Techniques Connexes, vol. 48, no. 7/8, July/August 1994.
- [KON 00] KONECZNY H., JANOSCH J.-J., DEBIEZ S., "Définition d'une base de données matériaux pour les constructions soudées lourdes par caractérisation expérimentale de ténacité/résilience", Revue Française de Mécanique, no. 1997-1, pp. 17-25, 2000.
- [LAF 88] LAFRANCE M., POUPON M., DEVILLERS L., "Les outils et technologies modernes de production des aciers", Soudage et Techniques Connexes, vol. 47, no. 11/12, November/December 1988.
- [LEI 62] DE LEIRIS H., BONIZEC R., "L'essai au mouton Pellini et les assemblages soudés", ATMA 1961, pp. 669-684, 1962.
- [LEI 71] DE LEIRIS H., Métaux et alliages, Tome I, Cours ENSTA, Masson & Cie, 1971.
- [LEI 96] LEI W., YAO M., "The physical nature of drop weight test NDT", Engineering Fracture Mechanics, vol. 53, no. 4, pp. 645-652, 1996.
- [MEE 88] MEESTER DE B., "Choix des aciers selon leurs propriétés Charpy V en vue d'éviter la rupture fragile", Le Soudage dans le Monde, vol. 26, no. 11/12, 1988.
- [MUH 98] MUHAMMED A., The effect of prior overload and its application in structural integrity assessments, SINTAP/TWI/014, TWI Report no. 88269/1/98, March 1998.
- [NF 81] NORME FRANÇAISE, Produits siderurgiques. Détermination du facteur d'intensité de contrainte critique des aciers, NFA 03 180, June 1981.
- [NF 84] NORME FRANÇAISE, Assemblages plans et tubulaires soudés bout à bout - Essai de flexion par choc sur éprouvette bi-appuyée (entaille en V), NF A 89-202, July 1984.
- [NF 87a] NORME FRANÇAISE, Produits siderurgiques - Mécanique de la rupture - Détermination de l'écartement à fond de fissure (CTOD), NF A 03 182, June 1987.
- [NF 87b] NORME FRANÇAISE, Produits siderurgiques - Mécanique de la rupture - Détermination à partir de la courbe J-Sa des valeurs conventionnelles J0 et DJ/DA- Caractéristique de la résistance à la déchirure ductile, NF A 03 183, June 1987.
- [NF 90] NORME FRANÇAISE, Matériaux métalliques - Essai de flexion par choc sur éprouvettes Charpy - Partie 1: Méthode d'essai, NF EN 10045-1, October 1990.

- [PEL 71a] PELLINI W.S., "Principles of fracture safe design - part I", Welding Research Supplement, pp. 91-109, March 1971.
- [PEL 71b] PELLINI W.S., "Principles of fracture safe design - part II", Welding Research Supplement, pp. 147-162, April 1971.
- [ROS 98] ROSSOL A., Determination de la tenacite d'un acier faiblement allie a partir de l'essai Charpy instruments, PhD Thesis, ECP 98-43, 1998.
- [SAN 74] SANZ G., La rupture des aciers. La rupture fragile 1, Collection IRSID OTUA, 1974.
- [SAN 78] SANZ G., La rupture des aciers. La mecanique de la rupture 2, Collection IRSID OTUA, 1978.
- [SIM 93] SIMON A., DENIS S., "Modelisation et calcul des transformations de phases et des contraintes internes en traitement thermique des aciers", Les Entretiens de la Technologie, 11 May 1993, Nantes, AtelierMateriaux 6: Transformations microstructurales, 1993.
- [SOU 97] SOULIGNAC P., BERANGER G., HENRY G., LABBE G., Les aciers speciaux, Lavoisier, Paris, 1997.
- [TOY 89] TOYODA M., "Fracture toughness evaluation of steel welds", Review Part II, University of Osaka, 1989.
- [TOY 91] TOYODA M., Recommendation for understanding the significance of CTOD test, results for steel weld HAZ, IIS - IIW Commission X, 1991.
- [TOY 00] TOYODA M. et al., Fracture mechanics approach for fracture performance evaluation of steel structures under seismic loading, Doc IIS - IIW X-1462-00, 2000.
- [WIE 99] WIESNER C.S., SMITH S.D., Pellini drop-weight testing to charaterise structural crack arrest behaviour, Doc IIS - IIW X-1438-99, 1999.
- [WIL 99] WILSIUS J., IMAD A., NAIT ABDELAZIZ M., MESMACQUE G., ERIPRET C., "Analyse des modeles bases sur l'approche locale en mecanique de la rupture", Soudage et Techniques Connexes, vol. 53, no. 11/12, November/December 1999.
- [WIL 99] WILSIUS J., Etude experimental et numerique de la dechirure ductile basee sur des approches locales en mecanique de la rupture, PhD Thesis, Universite des Sciences et Technologies de Lille, December 1999.
- [XU 97] XU W.G., "Diagrammes devaluation de la rupture en presence de contraintes residuelles", Soudage et Techniques Connexes, vol. 51, no. 11/12, November/December 1997.

11 тарау.

Атом өндірісіндегі ауыр компоненттерді дәнекерлеу

11.1. Су-сулы реактордың жоғары қысым түтігін жалпы презентациялау

Реакторлардың қысыммен судың астындағы ядролық бөлігі (PWR) немесе жоғары қымысның ядролық түтіктері бу генерациясында қатысатын, содан соң турбиналарға және электрлі генераторларға берілетін жүйелерден тұрады.

Осы қазандықтың негізгі құрауыштары төмендегідей (сондай-ақ, 11.1-суретті қараңыз):

– Ядролық жанармайдан шығатын энергия тоңазтқыш жылу тасымалдағышына берілетін бастапқы контур ретінде танымал жоғары қысымды суы бар (154 бар) және температура 350°C-қа дейін баратын реактордың корпусы. Бұл түтік биіктігі шамамен 12 м, диаметрі 5 м және қалыңдығы 250 мм екі жартылай шар күмбездермен жабылған цилиндрді береді. Түтікке түрлі көлемдегі кейбірі негізгі бастапқы құбырмен қосылатын шүмектерді беретін дәнекерлеу бұрмасының белгілі бір саны қосылған;

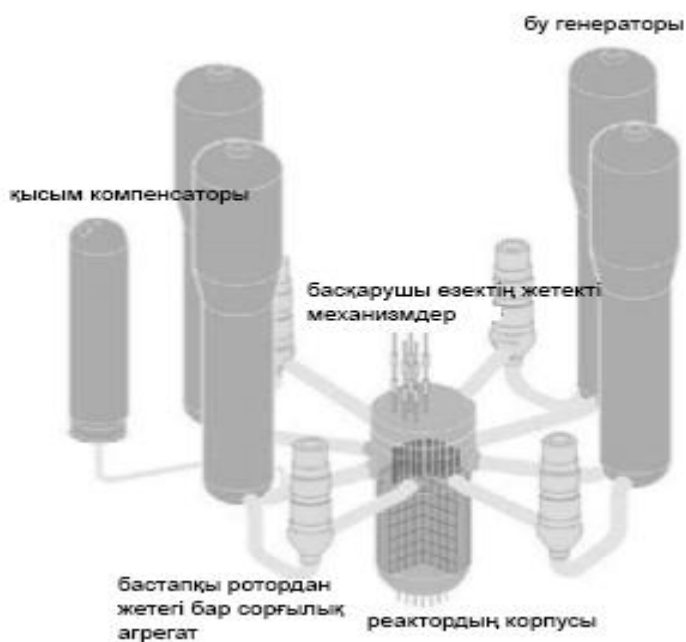
– Бірінші контур сұйықтығының энергиясы жылу тасымалдағыш құбырлары арқылы буға айналатын, турбиналарды айналдыруға арналған бу генераторлары. Бу генераторларының 3,5-тен 5 м дейінгі диапазонда биіктігі шамамен 20 м болады; олардың қалыңдығы шамамен 100 мм.

ЕСКЕРТУ: Бу генераторларындағы судың айналымы және турбиналарға буды беру жүйесі әдеттегі электр станцияларында пайдаланылатын сұрыптарға ұқсас C-Mn маркаларының A42 және A48 болат құбырларында жүреді. Бұл материалдар осы тарауда қарастырылмайды.

Қысым конденсаторы бастапқы контурдың іске қосу фазалары кезінде жұмыстық артық қысымға қол жеткізуіне мүмкіндік береді. Бұл ұзындығы шамамен 13 м, диаметрі 2,5 м және қалыңдығы 120 мм құрауыш. Бұл құрауыштың сондай-ақ түрлі біріктіру шүмектері бар.

Қозғалтқыштан жетегі бар сорғы бастапқы контурдағы сұйықтықтың айналымын қамтамасыз етеді.

Сыртқы диаметрі 900 мм және қалыңдығы шамамен 80 мм құбырлар жоғарыда аталған түрлі құрауыштарды біріктіреді.



11.1-сурет Күштік ауыстырып-қосқыш құрауыштары

11.2. Өндірісте пайдаланылатын негізгі материалдар

11.2.1. Материалдарды таңдау қағидасы – құрылыс нормасы

Ядролық қондырғының үлкен герметикалық құрауыштары бастапқы контур сұйықтығымен түйісе отырып, 350 °C-қа дейінгі температура кезінде жоғары қысымды көтере алуға есептелінген болуы тиіс. Мұнымен қоса, реактордың корпусы нейтронды сәуле шығаруға жатады.

Қауіпсіздік аспектісіне қоса, болжамды 40 жыл жарамдылық мерзіміне байланысты жөндеу немесе алмастыру бойынша ықтимал операциялардың күрделілігі мен құны ескірудің негізгі материалдар үшін де, сондай-ақ түрлі элементтерді құрастыру үшін пайдаланылатын дәнекерлеу жапсарлары үшін де жобалау кезеңінде ескерілуі тиістігін білдіреді.

Барынша айқын заңды талаптар Францияда 1974 жылғы 26 ақпанындағы «Су-сулы энергетикалық ядролық реакторларға қатысты ережелерді қолдану туралы» министрдің бұйрығында пайда болды. Осы жарлық өндірушіге негізінен бастапқы тізбектің қысымына ұшырайтын барлық бөлшектер үшін, осы бөлшектердің дәнекерлеу жапсарларын қоса алғанда, материалдарға арналған массив құрастыруға заңды міндеттемелерді жүктейді.

Техникалық және нормативтік шектерулер материалды таңдау өлшемдері мен жинау режимдерінң негізінде жатады. Осы таңдау болат қорытпалар мен мінсіз қадағаланатын үдерістердің ұдайы оңтайландырылуының нәтижесі болып табылады. Ережелер совместно AFCEN (Су-сулы энергетикалық ядролық реакторларға қатысты құрылыс нормалары мен ережелердің француз қауымдастығы) аясында EDF және FRAMATOME бірлесе отырып әзірленген жобалау және құрылыс кодексінде (RCC-M) қамтылған.

11.2.2. Жоғары қысым түтіктеріне арналған төмен қосындыланған болат

АҚШ-та 1960-жылдары пайдалнуға енгізілген алғашқы қысымды су-сулы реакторларының алғашқы түтіктері қалыңдығы 175 мм көміртекті-марганец болатының табағынан жасалған. Дегенмен, өнімділігі жоғары реакторларды (бастапқыда 300 МВт, ал енді 1450 МВт дейін) өндіру туралы әңгіме бола салысымен, С-Mn болаттары қысымдық түтіктің қарастырылып отырған қалыңдығына арналған жеткілікті тұтқырлыққа бұдан әрі кепілдік бере алмады. Одан екінші әзірлемелер марганец-молибденді болат табақтарының немесе дайындамалардың (ASME SA 302 B), ал содан кейін Mn-Ni-Mo (ASME SA 533 сынып B cl 1 немесе SA 508 cl 3) дайындамаларының қалыптасуына алып келді. Осы соңғы сынып барлық француз су-сулы энергетикалық ядролық реакторларында төменде сипатталған қосымша талаптармен пайдаланылды. Ол RCC-M-дегі 16 MND 5 ретінде белгіленген және көрсетілген техникалық спецификациялар әсеріне жатады.

16 MND 5 - марганец-никель-молибден төмен қосындыланған болаттың құрылымы бейниттік, шындалған және жасытылған. Ол қысымдық үтіктер қалыңдығын шектеуге мүмкіндік беретін біршама жоғары техникалық сипаттамаларды және жақсы екпінді тұтқырлықты береді. Америкалық инженер-механиктердің қауымдастығының (ASME) қысымымен жұмыс істейтін Түтіктер бойынша ережелер жинағымен салыстырғанда, Францияда пайдаланылатын материалдар көміртектің, күкірттің, фосфордың және мыстың анағұрлым шектеулі құрамымен сипатталады. Сәулеленуге жататын белсенді аймақтың қабығы үшін қосымша талаптар нейтронды радиацияның бекемдігі мен осалдығын арттыру үшін жауапты мыс пен фосфордың, химиялық заттардың құрамына қатысты.

11.1-кесте. PWR қондырғыларының негізгі материалдарының химиялық құрамы
 16 MND 5 болаттың берілген сипаттамалары 11.1 и 11.2-кестелерде келтірілген

Материал	C%	Mn%	Si%	P%	S%
16 MND 5	d0.22	1.15/1.60	0.10/0.30	d0.020	d0.012
	Ni%	Cr%	Mo%	Fe%	B%
	0.50/0.80	d0.25	0.43/0.57	теңгерім	-
16 MND 5 (өзектің ернеушелері)	C%	Mn%	Si%	P%	S%
	d0.22	1.15/1.60	0.10/0.30	d0.008	d0.008
	Ni%	Cr%	Mo%	Fe%	B%
Z2 CN 19-10 (N-күшейтілген)	C%	Mn%	Si%	P%	S%
	d0.035	<2.00	<1.00	<0.040	<0.030
	Ni%	Cr%	Mo%	Fe%	B%
Z2 CND 18-12 (N- күшейтілген)	C%	Mn%	Si%	P%	S%
	d0.038	<2.00	<1.00	<0.040	<0.030
	Ni%	Cr%	Mo%	Fe%	B%
NC 15 Fe (Қорытынды 600)	C%	Mn%	Si%	P%	S%
	<0.10	<1.00	<0.50	<0.015	<0.015
	Ni%	Cr%	Mo%	Fe%	B%
NC 30 Fe (Қорытынды 690)	C%	Mn%	Si%	P%	S%
	0.01/0.04	<0.50	<0.50	<0.015	<0.010
	Ni%	Cr%	Mo%	Fe%	B%

11.2-кесте Су-сулы энергетикалық реакторлардың негізгі материалдарының берілген механикалық қасиеттері

Материал	RP 0.2 (20°C) (МПа)	Rm (20°C) (МПа)	До%	Шарпи бойынша сынақтар	RP 0.2 (350°C) (МПа)
16 MND 5	t400	550/670	t20	Көлденең бағыт: KU кезінде 0°C t40 Дж Бойлық тік: KU при 0°C t56 Дж	t300
16 MND 5 (өзектің ернеушелері)	t400	550/670	t20	Көлденең бағыт: KU кезінде 0°C t40 Дж Бойлық бағыт: KU at 0°C t60 Дж	t300
Z2 CN 19-10 (N-күшейтілген)	t210	t510	t35	KU кезінде 20°C t60 Дж	t130
Z2 CND 18-12 (N- күшейтілген)	t210	t510	t35	KU кезінде 20°C t60 Дж	t130
NC 15 Fe (Қорытынды 600)	t240	t550	t30	-	t190
NC 30 Fe (Қорытынды 690)	275/ 375	t 630	t30	-	t215

16 MND 5 болаттың сұрыбы реактор корпусының барлық бөлшектері (корпустар, жиектер, күмбездер, бүріккіштер) үшін пайдаланылады. Қысым компенсаторлының табақтары иен бу генераторының табақтары, құйылған бастиек және түтік табағы үшін болаттың аса тығыс сұрыбы пайдаланылады.

11.2.3. Аустенитті тот баспайтын болаттың арналары

Олардың жалпы коррозиялық төзімділігі мен қарапайымдылығы үшін аустенитті тот баспайтын болаттар басынан бастап қатты бөлшектерді (құбырлар, сорғылардың корпустары жәнебұру құбырларын қаптау, ядролық реактордың ішкі корпустық қондырғылары) үшін немесе салқындатқыш сұйықтықпен түйісу аймағындағы ірі құрауыштардың төмен қосындыланған болаттарын жабындау үшін пайдаланылады. Басты артықшылық, реактордың белсенді аймағына өткен кезде белсенді қылуы мүмкін коррозия өнімдерінің азаюы болып табылады. Бірінші америкалық конструкторлар AISI 304 (18% Cr - 10% Ni) және AISI 316 (17% Cr - 12% Ni - 2,5% Mo) маркаларын және туынды құймаларды (CF8 и CF8M) таңдаған.

Францияда ядролық бағдарламаның басынан бастап, осындай сұрыптарды таңдағанда туындайтын мәселелерге қарамастан, төмен көміртекті аустенитті сұрыптар таңдалған болатын. Басты ой дәнекерлеу операциялары кезінде немесе қысымды алып тастау кезінде түйіршіктердің дехромдалуынан болатын кристаллит аралық коррозияға сезімталдық тәуекелін азайту және тіпті жою да болған. Осы себепті, EDF, FRAMATOME и «Creusot-Loire» ынтымақтастықпен, екі нақты санаттар құрылған (11.1 және 11.2-кестелер):

- азотпен шыңдалған, көміртектің тым аз құрамы бар Z2 CN 19/10 маркасы, бірақ AISI 304 типті көміртек құрамы жоғары маркаларға баламалы,
- AISI 316 баламалы азотпен шыңдалған Z2 CND 18/10 маркасы.

Осы екі аустенитті сұрыптардың құймаларған арналған (сорғылардың корпустары, құбырлы бастапқы контур иіндері) аустенитті-ферритті баламалары Z4 CN 20-09 M (CF8) и Z4 CND 19-10 M (CF8M) береді.

Аустенитті және аустенитті-ферритті тот баспайтын болаттар одан әрі суда салқындатумен (гипернығайту) жоғары температурада күйдірумен өңделуге жатады. Бұл оларға карбидтерден ада және коррозиялық төзімділік тұрғысынан оңтайлы біртекті құрылымды береді. Осы материалдардың тұтқырлығы мен оқыс ажырау күші тым жоғары. Олардың сипаттамалық қасиеттері созған кезде әлсіз болып табылады (11.2-кестені қаарңыз), бұл оларды қысымдық ірі құрауыштар үшін пайдалануды жоққа шығарады.

Осы болаттар тиісті аустенитті-ферритті қосындылайтын материалдармен оңай дәнекерленеді. Төмен қосындылы болаттан айырмашылығы, олар алдын-ала қыздыруды, қосымша қыздыруды, бедердің өңделуін талап етпейді және өз алдына жұмыс аумағында жинау үшін мінсіз материалдарды білдіреді. Осы себепті төмен қосындылы ірі болат құрауыштардың жұмыс аумағында құбыр желісінің жүйесімен біріктіруді жеңілдету үшін аустенитті тот баспайтын болаттан жасалған қауіпсіз біріктіргіштері бар.

Құйылған немесе иленген тот баспайтын болаттар бастапқы құбыр желілері үшін пайдаланылады. Қалыптанған аустенитті-ферритті болаттар сорғылардың корпустары мен бастапқы контур құбырларының кейбір құрауыштары үшін пайдаланылады.

11.2.4. Никельді қорытпа бөлшектері

Никель-хром-темір типті никельге негізделген қорыпталар тот баспайтын болаттарға қарағанда, хлоридтерді қосқанда, коррозиялық төзімділікке ие. Олардың жылу тасымалдағыш жақсы сипаттамаларын қосатын болсақ, онда осы материалдардың бу генераторының құбыр

желіліреінде таңдалу себебін оңай түсінуге болады.

Коррозиялық қасиеттері мысал ретінде келтірілетін 600 (NC 15 Fe) қорытпасы, 75% Ni, 15% Cr және 8% Fe бар қорытпалар таңдалған. Ni-Cr-Fe қорытпаларының тағы бір қызық қасиеті бар: көлем ұлғаюының коэффициенті төмен қосындыланған болаттарға арналған осындай коэффициент үшін біршама жақын. Осы себепті, 600 қорытпасы көлденең қималар, құбыр бұру және қысымдық ірі құрауыштардың ішкі тіректері үшін де пайдаланылған. Мұнымен қоса, 600 қорытпасының (82 және 182 қорытпа) дәнекерленуіне арналған ресімдер мен қосындылайтын материалдар жақсы анықталған.

600 қорытпасының бастапқы контурдың арқасында судағы коррозиялық жарылуға сезімталдығы біртіндеп анықталып кееді. 1970-жылдардың аяғынан бастап, француз және халықаралық өндірістік бағдарламалар алмастыратын болат, шамамен 30% Cr құрайтын 690 (NC 30 Fe) қорытындысының, сонымен қатар, дәнекерлеуге арналған тиісті өнімдердің (52 және 152 қорытпалары) өлшемдерін анықтауға арналған болатын. СЕА (Атом энергиясы жөніндегі француз комиссиясы), EDF және Framatome зертханаларын қоса алғанда, көптеген зертханалардағы 15 жылға жуық сынақтар осы материалдың бастапқы контурдың сулы ортасында коррозиялық төзімділігін растауға мүмкіндік берді. Қазіргі кезде, оны қолданудың көптеген жағдайларында, осы материал Францияда 600 қорытпасын таза профилактикалық негізде жүйелі түрде алмастыру үшін пайдаланылады. Осы екі қорытпаның сәйкес келетін химиялық құрамдары 11.1-кестеде келтірілген.

Аустенитті тот баспайтын болаттарға келетін болсақ, термиялық өңдеу одан әрі беріктендірумен қатты температурада күйдіруден тұрады. Түйір аралық шекараның сенсбилизациясын болдырмау үшін беріктендіру соншалықты жылдам болмауы тиіс. Сенсбилизацияланбаған материалды алу мақсатында хромды түйір аралық шекараны қайта қуаттау үшін жеткілікті уақыт ішінде 715 °C-та қосымша өңдеу жүргізіледі.

Ni-Cr-Fe қорытпаларының жарылуының икемділігі мен беріктігі тым жоғары. Олардың ыстық қалпындағы созу кезіндегі сипаттамалары аустенитті тот баспайтын болаттарға қарағанда айтарлықтай жоғары (11.2-кестені қараңыз).

Осы материалдарды дәнекерлеу аустенитті тот баспайтын болаттар секілді сондай қарапайым емес. Олар металды қатыру кезінде немесе термиялық әсер аймағында ыстық микрошытынауға айтарлықтай бейімділікті танытады. Осы үрдіспен күресу үшін химиялық құрамды барынша мұқият оңтайландыру қажет, осы орайда қоспалардың төмен құрамына және Nb/Si жоғары қатынасына ерекше мән беріледі.

Ni негізіндегі қорытпалар бу генераторларының құбырлары және бөлу қалқалары үшін, сондай-ақ қорғаныс жүйесі өзекшесінің жетегі мен ядролық реакторды басқару механизмінің қабы үшін, БӨҚ құбырлары мен белсенді аймақтың тірек алаңдары үшін пайдаланылады.

11.3. Төмен қосындыланған болаттардың үлкен құрауыштарын дәнекерлеу

Ірі құрауыштар дәнекерлеу кезінде жиналған дайындамалардан немесе иленген бөлшектерден тұрады.

Осы құрауыштардың негізгі бөлшектері төмендегілер болып табылады:

–жоғары қысым түтігі үшін: үстіңгі күмбез, корпус қақпағының фланеці, түтік фланеці, шүмек корпусы, өзек корпусының екі сыртқы қабырғасы, өтпелі сақина және төменгі күмбез;

–бу генераторы үшін: үстіңгі бастиек, үстіңгі бөліктің екі сыртқы қабырғасы, қазандықты коректендіру суының форсуекасы, люктер, конустық қаптама, астыңғы бөліктің үш сыртқы қабырғасы, құбырлық шілтер, форсунклары мен люктері бар бастиек;

–қысым компенсаторы үшін: форсункалары бар үстіңгі бастиек, үш корпус, астыңғысында өзінің форсункасы бар.

11.3.1. Белгіленген өлшемдер

RCC-M-де көрстелген ірі құрауыштардың дәнекерлеу жапсарларының техникалық қасиеттеріне қатысты талаптар 11.2-кестеде келтірілген негізгі материалдарға қойылатын талаптармен бірдей. Химиялық талаптарға келер болсақ, белгілі бір шамалар дәнекерленудің шектілігіне байланысты, мысалы, тот баспайтын болат немесе никель қорытпалары секілді аустенитті қорытпаларда ыстық шытынауға төзімділікке байланысты. Осы химиялық құрамдар 11.3-кестеде көрстелген.

11.3.2. Ресімдік сипаттама

Ірі бөлшектерді қамтитын бөлшектердің дәнекерленуі (қысымдық түтік, бу генераторы, қысым компенсаторы) екі білікшені қабатқа бөлумен (шамамен ені 22 мм болатын) тар фаскадағы сымдық электродпен ұнтақты флюстың астында автоматты түрде дәнекерлеу әдісімен орындалады.

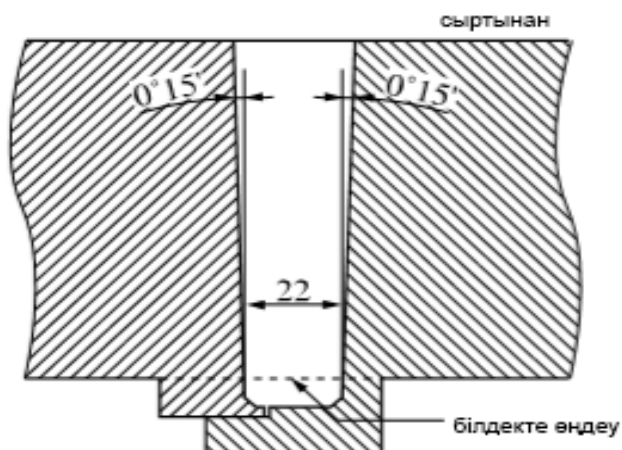
11.3-кесте ірі құрауыштарға арналған дәнекерлеу жапсарларының химиялық құрамы

Материал	C %	Mn %	Si %	P %
Төменқосындыланған болат Mn-Ni-Mo	d0.100	0.80/1.80	0.15/0.60	d0.015
	S %	Ni %	Cr %	Mo %
	d0.025	d1.50	d0.30	0.35/0.65
	Co %	Cu %	Fe %	B
		d 0.25		
	V	Nb + Ta	Ti	
	d0.04			
(Кесте жалғасы)				
Материал	C %	Mn %	Si %	P %
Аустенитті-ферритті тот баспайтын болат	C %	Mn %	Si %	P %
	d0.030	1.00/2.50	d1.0	d0.030
	S %	Ni %	Cr %	Mo %
	d0.030	9.00/11.00	18.00/22.00	d0.50
	Co %	Cu %	Fe %	B
	d0.20			
	V	Nb + Ta	Ti	Феррит G %
				5/15
Никельді қорытпа 15% Cr	C %	Mn %	Si %	P %
	d0.100	5.00/9.50	d1.00	d0.020
	S %	Ni %	Cr %	Mo %
	d0.015	t59.00	13.00/17.00	
	Co %	Cu %	Fe %	B
	d0.10	d0.50	6.00/10.00	
	V	Nb + Ta	Ti	
		1.00/2.50	d1.00	
Никельді қорытпа 30% Cr	C %	Mn %	Si %	P %
	d0.045	d5.00	d0.65	d0.020
	S %	Ni %	Cr %	Mo %
	d0.010	Теңгерім	28.00/31.50	d0.50
	Co %	Cu %	Fe %	B
	d0.10	d0.50	8.00/12.00	
	V	Nb + Ta	Ti	
		1.20/2.20	d0.50	

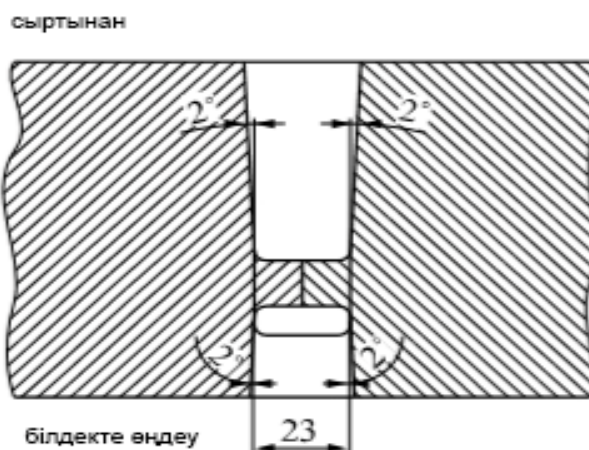
Дәнекерлеу жапсарының екі түрі пайдаланылады:

- ішкі бөлікке қарай орналасқан дәнекерлеу жапсары тамырының өтуін жою үшін қалыңдатумен тек бір жағынан (ішкі жағында) дәнекерлеу (11.2-суретті қараңыз).

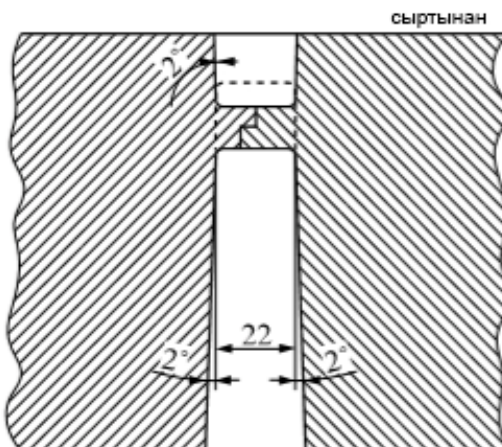
ажарлау немесе механикалық өңдеудің көмегімен дәнекерлеу жапсары тамырының өтуін жоюмен екі жағынан (сыртқы және ішкі) дәнекерлеу (11.3 және 11.4-суреттерді қараңыз).



11.2-сурет Біріктіру тек бір жағынан дәнекерленген



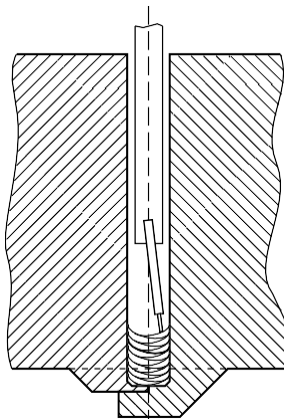
11.3-сурет пісіре отырып, ішкі жағынан дәнекерлеу



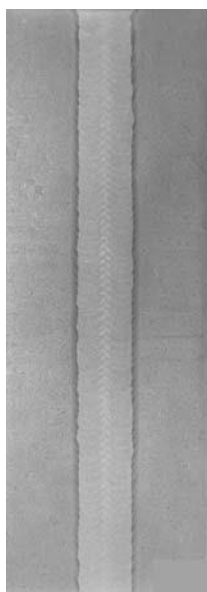
11.4-сурет Дәнекерлеусіз екі жағынан дәнекерлеу

Дәнекерлеу үдерісінің барлығында дәнекерлеудің жылдамдығы бақыланады және кезеу жүйесі дәнекерлеу астауына қатысты бастиектің дұрыс қалпын, сондай-ақ, қисайған жиектердің қамтамасыз етеді.

Осы жоғары өндірістік үдеріс керемет механикалық сипаттамаларды қамтамасыз етеді, әсіресе, соққылық тұтқырлық тұрғысынан, оның толығымен автоматандырылуының және қисайған жиектегі өтулердің симметриялық бөлінуінің арқасында *ақауы жоқ жапсарға* қол жеткізуге мүмкіндік береді (11.5-суретті қараңыз).



11.5-сурет *тар дәнеерлеу жапсарының эскизі*



11.6-сурет *Сым/флюс әдісімен орындалған дәнекерлеу жапсарының макрографикалық қимасы*

11.6-сурет тар сыммен/балқытпамен жиекті шауып алу үдерісінің арқасында мүмкін болған өтулерді жүйелі түрде асыруды көрсетеді.

Дәнекерлеу жапсарларының аса жоғары сапасын қамтамасыз етуге септігін тигізу мақсатында құрылыс нормалары (RCC-M, ASME және басқалар) келесіні қамтитын нақты үдерістің сақталуын талап етеді:

- қосындылайтын материалдардың химиялық құрамы мен механикалық сипаттамаларын тексеруді,
- дәнекерлеудің заңды ресімін,
- білікті дәнекерлеушіні немесе орператорды,
- дәнекерлеу жапсарларының сынақтық үлгілерін әзірлеу,

– дәнекерленген қосындылардың бұзылмауын бақылау.

–

Дәнекерлеу ресімдері енгізудің алдында заңдастырылған. Ресімнің жарамдылық мерзімі төмендегілерге байланысты:

- негізгі металдың сұрыбы,
- негізгі металдың формасы мен көлемі,
- дәнекерлеу үдерісі,
- қосындылайтын материалдар,
- дәнекерлеу жапсарының түрі,
- дәнекерлеу қалпы,
- дәнекерлеу өлшемдері
- термиялық өңдеу.

–

Макрографиялық және микрографиялық зерттеулер кезінде химиялық құрамды тексеру үшін заңдылық тексеріледі және үлгілер алынады.

Әрбір дәнекерлеу дәнекерлеу режимі туралы мәліметтер карточкасында сипатталған, біліктілік сынақтарын өткен ресімдерге сәйкес орындалады.

Барлық дәнекерлеу жапсарлары рентгенографиямен және/немесе ультрадыбыспен бақыланады. Дәнекерлеу жапсарларының кез-келген ақаулары жөнделеді және бақылаудың екінші ресімінен өтеді.

Сынаққа арналған пилоттық үлгілер олар беретін қосындылар орындалған қосындылайтын материалдардың көмегімен және тура сол дәнекерлеу білдектерімен жүргізіледі, ал содан кейін рентгенографиямен және/немесе ультрадыбыспен бақыланады. Осы сынаққа арналған үлгілерден макрографикалық зерттеулер, химиялық құрамы мен техникалық сипаттамаларын тексеру үшін үлгілер алынады.

Суық шытынауды болдырмау үшін қауіпсіздік шаралары қолданылады:

- ұнтақты флюстар бақыланатын температураларда күйдіруге жатады,
- төмен қосындыланған Mn-Ni-Mo болатты дәнекерлеу 150 ° C-қа дейінгі адын-ала қыздыруды және қыздырған соң, термиялық өңдеуді талап етеді.

Дәнекерлеген соң, дәнекерлеу жапсарлары қалған кернеу деңгейлерін төмендетуге бағытталған кернеуді түсіру үшін 610 °C-та термиялық өңделуге жатады.

11.3.3 Электродтармен жабындалған дәнекерлеу

Жеңіл балқытылатын жабыны бар электродтармен электрлі доғалы дәнекерлеу жергілікті жөндеу үшін, мысалы, шағын құбырлар мен аксессуарларды жинау кезінде пайдаланылады.

Механикалық сипаттамаларға қатысты үдеріс, өлшемдер, бақылау және жалпы алғанда, біріктірудің талап етілетін сапасы сымның және/немесе флюстың көмегімен автоматтандырылған үрдіспен дәнекерленген қосындыларға қойылатын талаптармен бірдей.

11.4 Жалату

Коррозиялық құбылыстарды болдырмауда суы бар қысыммен жоғары қысым (RPV) реакторлары корпусының технологиясы ерекше маңызға ие. Ол ең алдымен, бастапқы контурдың борлы қышқыл мен литин ерітіндіге салынатын тұтасымен жоғары температурадағы суды қамтитындығында. Бастапқы контур жабдығының үстіңгі ішкі қабаты тұратын материалдар олардың жалпы коррозиясына жол беретін ортаға салынады.

Коррозияның таралуын шектеу тот баспайтын болаттың немесе бастапқы сұйықтықпен түйісетін үстіңгі қабаттар үшін никельдің көп құрамы бар қорытпалардың пайдаланылуын талап етеді. Төмен қосындыланған болаттар, шын мәнінде, жабынсыз бастапқы контур ортасында төмен болып қалатын (жылына 30 микрон шамасында), бірақ ол шығаратын өнімдерге байланысты құпталмайтын коррозияның әдеттегі қарқындылығына ие.

Осылайша, болаттардың коррозиясының таралуына қатысты туындайтын қауіп металлдың үстіңгі қабаттарының жәйлап бұзылуына байланысты емес, керісінше ерітіндіге немесе бастапқы сұйықтық суспензиясына салған кезде келесі құбылстардың болуынан түтіктің пайладанылуын шектеуі мүмкін химиялық құрамдардың құрылуына байланысты:

- жылу тасымалдағыштың үстіңгі қабаттарында шөккен (бу генераторының құбырлары, жанармай гильзалары) коррозиялық өнімдерінің әсерінен жылу бергіш коэффициенттердің төмендеуі,
- қысым жоғалтудың ұлғаюы,
- бастапқы контур ортасындағы ертіндідегі немесе суспензиядағы жемірлік өнімдердің реактордың барлық белсенді аймағындағы индукцияланған белсенділікпен ұлғаюы,
- жергілікті коррозияның жылдамдауы,
- бөлшектердің және қақпақша фитингілерінің тозуы,
- БӨҚ және А аспаптарының бұзылуы ,
- үстіңгі қабаттарда коррозияның болмауынан бақылау тексерістерінің бұзылуы.

Осылайша, коррозиялық өнімдер лақтырындысының төмен деңгейін алу бастапқы контур сұйықтықтарымен түйісетін үстіңгі қабаттар үшін пайдаланылатын материалдарды таңдау кезінде басты артықшылық болды.

Осының салдарынан, лақтырындының төмен деңгейлері бар материалдады іздеу бастапқы контур сұйықтығындағы коррозияның өте төмен жалпылануы бар материалдарға алып келді, ол тот баспайтын болаттар мен никель негізіндегі қорытпаларды таңдауға алып келді.

Ірі көлемді түтіктер- бу генераторларының, герметизаторлардың қысымындағы түтіктер үшін қарастырылатын қалыңдықты ескеру коррозияға төзімді материалдарды пайдалануды ескертеді, сондықтан, төмен қосындыланған болат артықшылықты материал болып табылады. Лақтырындылардың төмен деңгейін алу үшін үстіңгі қабаттарға болат (308 л немесе Z 2 CN 20-10) немесе доғалық дәнекерлеу кезінде никель негізіндегі қорытпалар төселеді. Бу генераторларының байламдары үшін пайдаланылатын материалға келер болсақ, бастапқы да және екінші де контур ортасында жалпы коррозиялық төзімділігі тым жақсы, сондай-ақ осы орталарда керемет жергілікті коррозиялық төзімділігі бар, никель негізіндегі қорытпаны пайдалану керек болатын. Міне, сондықтан да, құбырлы табақтың үстіңгі қабатында тот баспайтын болат никель-хром-темір қорытпасымен алмастырылады. Осылайша, никель-хром-темір қорытпасымен құбырды дәнекерлеу үйлесімді материалдардың арасында және ыстық шытынау тәуекелін болдырмау үшін ең жақсы жағдайларда жүргізілуі мүмкін.

11.4.1 Жалату тәсілі

Жалату жолақ ұштарын кесумен үздіксіз желілерде болат жолақтарды балқытудың түйісті дәнекерлеуімен немесе жабыны бар электродтармен электрлі доғалы балқытпалы дәнекерлеумен ұнтақ тәрізді флюспен дәнекерлеудің автоматты үдерісін пайдаланумен жағылады.

Автоматты түрде дәнекерлеу үшін жолақтар дәнекерлеудің негізгі екі ресімдерін пайдаланады:

- қатты флюстың көмегімен дәнекерлеу,

- электр жетекті флюспен дәнекерлеу.

Қатты флюспен дәнекерлеуге арналған ені 30-дан 60 мм дейінгі дейінгі жолақ және ені 50-ден 75 мм дейінгі электр жетекті флюспен дәнекерлеуге арналған жолақ. Жолақтың енін оңтайлауға болады, мысалы конустық құрауышқа сәйкес келу үшін оңайлауға болады (қалыңдығы әртүрлі біріктіргіш бөлшектер).

Электр жетекті ағынмен өңдеу цилиндрлік қаптамалар үшін пайдаланылады. Біріктіру аймағында электр жетекті өңдеу бастиектерде пайдаланыла алмайды және олар қатты бөлшектер ағынымен өңдеумен алмастырылады.

Тот баспайтын болаттан жасалған қаптама болжамды қалыңдыққа сәйкес екі немесе үш қабаттан тұрады, осы орайда, 24% Cr және 12% Ni жолағын пайдаланумен орындалған бірінші қабат шамамен 20% Cr және 10% Ni химиялық құрамы бар ерітуді ескерумен шөгуге алып келеді. Екінші қабат, бәлкім одан кейінгі қабаттар да 20% Cr және 10% Ni типтегі жолақпен жасалады.

Суық шытынауды және қайтара ысыту кезіндегі шытынауды болдырмау үшін термиялық дәнекерлеу жағдайларына, дәнекерлеу өлшемдеріне және білікшелердің ерекше қалпына қатысты ерекше қауіпсіздік шаралары қолданылады.

Электродтарды пайдаланып жабындау жөндеу жағдайында және үстіңгі қабаттың шағын алаңдарында немесе автоматты дәнекерлеумен орындалатын жабындарды біріктіру үшін пайдаланылады. Бірінші қабатты жағу үшін 24% Cr және 12% Ni электроды талап етіледі, ал келесі қабаттар үшін 20% Cr және 10% Ni. Электроды пайдаланылады.

Жолақпен/флюспен автоматты түрде дәнекерлеуге келер болсақ, термиялық дәнекерлеу жағдайларына және суық шытынауды болдырмау үшін қажетті дәнекерлеу өлшемдеріне қатысты қауіпсіздік шаралары қолданылады.

11.4.2 Жалатуды бақылау

Ni-Cr-Fe қорытпасымен және тот баспайтын болатпен жабындау бөлу шекарасында ақаудың болмауын тексеру үшін ультрадыбыспен бақыланады. Химиялық талдаулар тот баспайтын болатпен жалатылған үстіңгі қабатта көміртектің пайыздық құрамы 0,035%-дан төмен екенін тексеру үшін жүргізіледі.

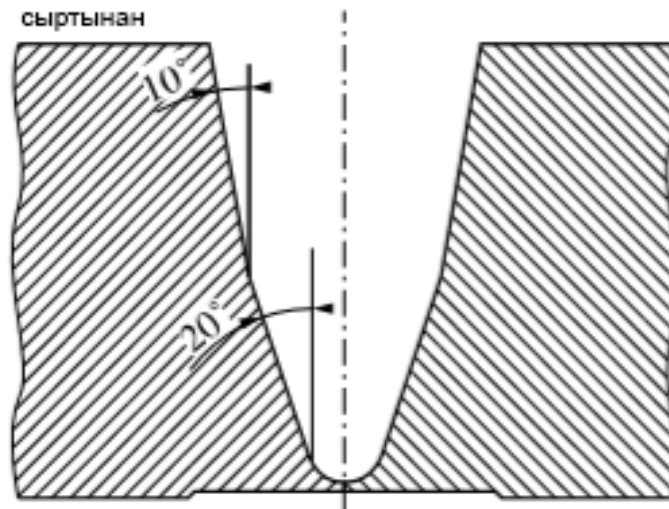
11.5 Контурларды тот баспайтын болатпен дәнекерлеу

Аустенитті тот баспайтын болаттан жасалған контурлар жоғарыда сипатталған қысыммен жұмыс істейтін түрлі элементтерді біріктіру үшін пайдаланылады. Негізгі бастапқы құбырлардың мөлшері диаметрінде 900 мм дейін және қалыңдығы 800 мм дейін барады; азырақ диаметрі бар бұрулар мен құбырлар осы негізгі бастапқы құбырлармен біріктірілген; олар қосалқы құбырлар деп аталады.

12-тарау тот баспайтын болаттарды дәнекерлеуге арналғандықтан, осы жерде ядролық қондырғылардың ерекшеліктерін атап өту жеткілікті. *Зауытта әзірленген* дәнекерлеу қосындыларының белгілі бір саны аумақтарды жұмыс алаңына шығарумен цехта орындалады: көбінесе, дәстүрлі балқытпалы жабыны бар электродтармен электрлі доғалы үдерістер немесе ұнтақты флюспен және сымды электродпен (сым/флюс) автоматты электрлі дәнекерлеу пайдаланылады. Жұмыс алаңында шағын құбырларды немесе бұруларды дәнекерлеу үшін жабыны бар электродтар немесе қолмен TIG-дәнекерлеу пайдаланылады (инертті атмосферадағы электрлі доғамен және вольфрамды электродтармен).

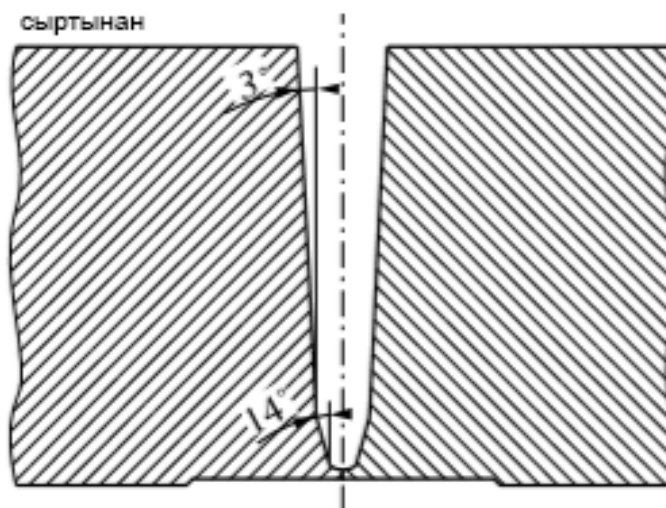
Ең ірі құбырларды дәнекерлеу үшін жұмыс алаңында бастапқыда, жабыны бар электродтармен қолмен дәнекерлеу пайдаланылған, алайда сапаған деген сұраныс пен өнімділік қарқынды дамуға алып келді. Осы орайда, сәулеленген аймақтардағы жұмыс кезінде осы қолмен өңдеу тәсілдері жөндеу немесе құрауыштарды алмастыру кезінде оңай пайдаланыла алмайды. Осындай жағдай үшін, түрлі қалыптарда, алдымен, электродтармен

жабындалған қолмен дәнекерлеу кезінде пайдаланылатындарға ұқсас дәстүрлі фаскалармен, содан соң тар фаскамен (11.7-суретті қараңыз) орбиталдық TIG-дәнекерлеу секілді автоматтандырылған дәнекерлеу үдерістері әзірленген (11.8-суретті қараңыз).



11.7-сурет *Инертті газ ортасында вольфрамды электродпен орбиталдық доғалық дәнекерлеу үшін дәстүрлі қисайтылған жиек*

Тар фаскамен орбиталдық TIG-дәнекерлеу қағидасы 11.9-суретте берілген. Бұл дәнекерлеудің диаметрі 1 мм 316L сұрыпты тар саңылаудағы 7-ден 0,5 мм дейінгі суық сымды пайдаланумен сымның өтуі арқылы бір өтпелі көп қабатты үдерісі болып табылады. Осы үдеріс, тік білікті (2GT), горизонталды білікті (5GT) және на 45° еңкіштікті қоса алғанда (6GT) дәнекерлеуді түрлі қалыптарда орындауға мүмкіндік береді.



11.8-сурет *Инертті газ ортасында вольфрамды электродпен орбиталдық доғалық дәнекерлеу үшін тар қисайтылған жиек*



11.9-сурет *Инертті газ ортасында вольфрамды электродпен орбиталдық доғалық дәнекерлеу үшін тар қисайтылған жиекті өзірлеу қағидасы*

Ең алдымен, тар фасканың көмегімен орбиталды TIG- дәнекерлеудің артықшылығы жұмысты жеңілдетуінде және өнімділікті арттыруында болып табылады. Уақытты және қосындылайтын материалды ұту, дәнекерлеу 11.4-кестеде аталғандай кең фаскалы басқа дәнекерлеумен салыстырған кезде, 1-ден 4-ке дейінгі құрайды. Осы ұтудың фасканың тарлығына тікелей байланысты екендігі түсінікті.

Осы үдеріс сондай-ақ, сенімділікті және металлургиялық сапаны арттырады. Үдерістің қарапайымдылығының және жапсардың түбінен бастап, срңғы толығына дейін мүлдем бірдей өтулерден тұратын тұрақты өлшемдердің қамтамасыз етілуінің арқасында, 11.10-суреттен көруге болатындай біртекті дәнекерлеу шығады. Мұнымен қоса, дәнекерлеудің осы түрі үздік механикалық сипаттамаларды көрсетеді.

11.4-кесте *Тар кесілген жиектің дәнекерлеудің басқа үдерістеріне қарағанда өнімділігі*

Үдеріс	Балқытуға арналған металдың салмағы	Өту саны	Қажетті уақыт
Жабынды электрод	50 кг		250 с білдекте
Жабындыэл ектрод (жапсардың түбі) + вольфрамды дәнекерлеу	Жабынды электрод 6 кг + вольфрамды дәнекерлеу 44 кг	180 вольфрамды дәнекерлеу	70 с білдекте + 150 с білдекте
Тар кесілген	14 кг	43	50 с білдекте

жиекпен вольфрамды дәнекерлеу с узкой скошенной кромкой			



11.10-сурет 5GT қалпында орындалған вольфрамды дәнекерлеудің тар кесілген жиегінің макрографикалық пішіні

11.6. Әртектегі металдардың айырық қабаттары

Ауыр құрауыштар (қысымды түтік, бу генераторы, герметик) бүтіндей тот баспайтын болатпен жабындалған төмен қосындыланған болаттан жасалған, ал бастапқы құбырлар шын мәнінде тот баспайтын болаттан жасалған. Осындай типтегі құрастырылым төмен қосындыланған болаттан жасалған шүмектерді аустенитті және аустенитті-ферритті тот баспайтын құбырлармен дәнекерлеуді талап етеді. Осындай құрастыру міндетті түрде жұмыс орнында дәнекерлеуді талап етеді.

Осы ресімді үнемі дерлік тот баспайтын болатан жасалған сақтандырғыш ұштық фитинг дәнекерленген құбырлардың ұшында суық аустенитті-ферритті материалдың көмегімен орындау үшін зауытта тот баспайтын болатты бөлу жиегін жалату орындалады.

Осы үшін құбыр мен құбыр желісінің арасындағы қосынды келесі материалдардан (11.11-суретті қараңыз):

- төмен қосындыланған болаттан жасалған құбырдың негізгі металлынан,
- құбырдың тот баспайтын болаттан жасалған ішкі жабынынан,
- құбырдың ұшын бөлектейтін жиектерді тот баспайтын болатпен немесе Ni-Cr-Fe қорытпасымен жалатудан,
- тот баспайтын болаттан немесе Ni-Cr-Fe қорытпасынан жасалған сақтандырғыш бүйірлік фитингі бар дәнекерлеу жапсарынан,
- сақтандырғыш ұштығын бөлектейтін жиекті Ni-Cr-Fe қорытпасымен жалатудан тұрады. Егер дәнекерлеу тот баспайтын болатпен орындалатын болса, онда майлағыш қажет болмайды.
- тот баспайтын болаттан жасалған ұштық фитингінің жалатуынан,

- ұштық финиг пен тот баспайтын болаттан жасалған құбырдың аарсындағы қосындыны дәнекерлеуден,
- тот баспайтын болаттан жасалған құбырлардың негізгі металынан тұрады.

Тот баспайтын болаттан жасалған шүмектік бөлікті бөлектейтін жиекті жалату әр текті металдар интерфейсін құрайды. Дәнекерлеу жапсарының материалы тот баспайтын болаттан жасалған кезде, дәнекерлеу ыстық сыммен TIG-дәнекерлеу әдісімен немесе қолмен электродтармен жабындалған дәнекерлеумен орындалады, осы орайда, бірінші қабат 24% Cr және 12% Ni, ал одан кейінгі қабаттар - 20% Cr және 10% Ni тұрады. Негізгі металға термиялық әсер етуі мүмкін қосылған металдың барлық қабаттары алдын-ала қыздырумен және кейінгі қыздырумен орындалады. Осы қауіпсіздік шарасы суық шытынаудың туындау тәуекелінен барынша қорғауды қамтамасыз етеді.

Осы әртекті металл қабаттары кернеуді алып тастау үшін міндетті түрде термиялық өңделуге жатады. Олар рентгенографиялық және ультрадыбыстық бақылаудың көмегімен тексеріледі.

Тар саңылаулы Ni-Cr-Fe қоспасы бар құбырды және ұштық фитингті майлаусыз TIG-дәнекерлеу болашақта қолданыстағы үдерісті алмастыруы тиіс.



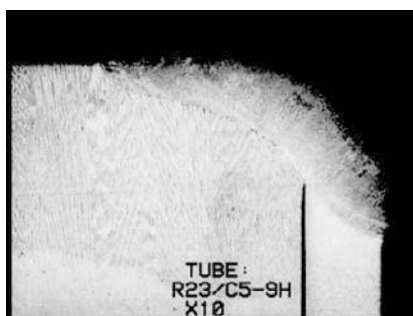
11.11-сурет Форсунканы/ құбырды біріктіру сызбасы

11.7. Бу генераторлық құбырларды дәнекерлеу

Солар арқылы бастапқы контурдың сұйықтығы ағатын түтіктік байламның түтіктері алдын-ала Ni-Cr-Fe қорытпасымен жабындалған құбырлық табаққа дәнекерленген.

Диаметрі шамамен 20 мм қалыңдығы 1 мм, Ni-Cr-Fe 30% Cr болатын құбырлар автоматты TIG-дәнекерлеудің көмегімен қосынды материалсыз екі соңғы айналымда импульстік дәнекерлеу тоғын пайдаланумен дәнекерленеді. Осы тоқ жұмыс кезінде дәнекерлеу астауын ұстап тұруға және дәнекерлеу жапсарның берік болуына септігін тигізеді (оксид қабаттарының болмауы).

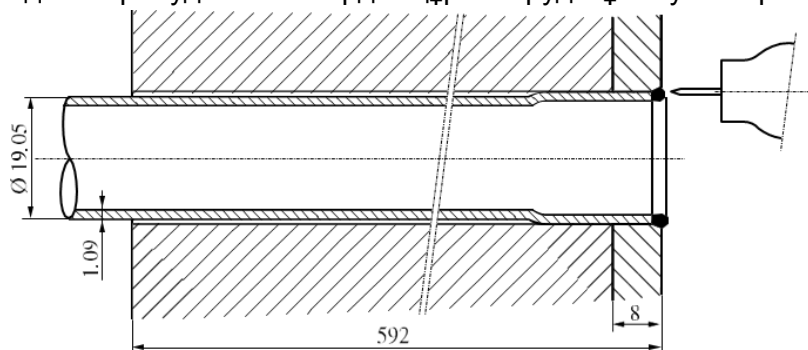
Сынақ үлгілері жүйелі түрде жүргізіледі, дәнекерлеу жапсарлары макрография мен микрографияның көмегімен тексеріледі (11.12-суретті қараңыз). Әсіресе, сабақтастық өлшемдері тікелей микроеуектілікке қатысты қалыңдық пен мөлшер мәнін ескереді.



11.12-сурет Құбырдың-құбырлық шілтердің дәнекерлеу жапсарының макрографикалық қимасы

Осы дәнекерлеу жапсарлары көптеген бұзылмайтын сынақтардан өтеді, оның ішінде келесі ерекшеленеді: визуалды бақылау, өлшеулерді бақылау, өтпелі бояғы, рентгенография және су өткізбеушілік (гелдік тест).

Дәнекерлеудің алдында құбырлар қысқа ұзындық бойынша (<25 мм), механикалық кеңейтумен біріктіріледі, оның мақсаты дәнекерлеу ресімі үшін құбырдың дұрыс орналасуын қамтамасыз ету болып табылады. Дұрыс орындалған орталықтандыру, құрылыс нормаларына сәйкес келмейтін жапсардың түбіндегі деңгейде қабаттанудың қалыптасуын болдырмайды. Мұнымен қоса, осы орталықтандыру құбырларды дәнекерлегеннен кейін болатын гелдік сынақ кезінде су өткізгіштіктің бұзылуын болдырмау үшін тым қатты болмауы тиіс. 11.13-суретте дәнекерлеуден кейін бірден құрастыруды ұсыну келтірілген.



11.13-сурет Құбырдың-құбырлық шілтерді дәнекерлеу

Дәнекерлеуден соң және бұзылмайтын сынақтардан соң құбырдың пластинада толығымен кеңеюі келесі функцияларға кепілдік береді:

- дәнекерлеу кезінде түтікті байламға әсер ететін күштерден құбырдың дәнекерлеу жапсарын қорғау,
- механикалық кедергі,
- екінші жағында түтіктің/тесіктің саңылауын жабу түтіктің/тесіктің түйінаралығына екінші сұйықтықтың енуін шектейді.

Кеңейту түтіктің үстіңгі қабаты мен серіппе қайтқаннан кейінгі саңылаудың арасындағы бөлектеу шекарасындағы қалдық қысымды алуға арналған саңылаудағы түтік диаметрінің ұлғаюында болып табылады.

Кеңейтуді:

- (2000 бар) құбырдағы сұйықтық қысымын гидравликалық үдеріспен арттыру арқылы (2000 бар); аса жоғары қысым қажет,
- немесе, айналмалы аунақшаларымен механикалық үдерісті беретін кеңейту арқылы.

11.8. Қорытындылар

Қауіпсіздік тұрғысынан да, өндірістік тұрғысына да, көп нәрсенің тігілуіне байланысты, ядролық су-сулы энергетикалық реакторлардың құрауыштарын жасау барысында сынақтан өткен және дәлелдемелер алынған материалдар мен құрастыру үдерістері пайдаланылады.

Жобалаушылар орындаған бірінші шешімдер айтарлықтай деңгейде ақылға сыйымды болғандықтан, одан кейінгі материалдарға қатысты әзірлемелердің барлығы да маңызды бола қойған жоқ: химиялық құрамның ауқымы тарылды, ал қоспалар құрамы азайды; олардың қасиеттерін білу айтарлықтай жақсарды және материалдарды аттестациялау

мақсатында жүргізілген, соңғы 25 жылда 70 ядролық қондырғыларды жасау үшін пайдаланылған сынақтардан бастап, кең мәліметтер базасы құрылды.

Құрастыру үдерісіне келер болсақ, мұнда тиімділік пен сапаны тұрақты түрде жақсарту мүмкін болған тұстарда жақсы бақыланатын автоматты үдерістерді қолдану есебінен орын алды.

Осы жақсартулардың барлығының түбегейлі мақсаты пайдаланудың кез-келген жағдайында және реактордың кез-келген жарамдылық мерзімінде пайдалану қабілеттерін көрсету болып табылады.

ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- [AKH 88] AKHTER R. et al, "Laser welding of zinc coated steel", Lasers in Manufacturing, Cotswold Press Ltd, UK, 1988.
- [BAB 99] BABBIT M., CANTINIEAUX P., "Les aciers HR et THR: offre, mise en reuvre et performances", Symposium auto et carrosserie automobile, Cannes, 1999.
- [BOI 92] BOISSELIER D. et al, Le soudage laser de faibles et moyennes epaisseurs, Centre Technique des Industries Mecaniques, 1992.
- [BON 00] BONSS S. et al., Innovations in laser hybrid technology: the combination of CO2- laser and high power diode laser, Section C-ICALEO, 2000.
- [BOS 92] BOSCH, Avantage du soudage en courant continu, Documentation commerciale, 1992.
- [COL 94] COLLECTIF, Le livre de l'acier, Techniques et documentation, Lavoisier, Paris, 1994.
- [DRO 93] DROUART C., Soudage par resistance, Publication du soudage et de ses applications (IS), 1993.
- [DUP 00] DUPUY T., FARDOUX D., "Spot welding zinc coated steels with medium frequency direct current", Sheet Metal Welding Conference IX, Detroit, October 2000.
- [ELI 89] ELIOT D., Le soudage par faisceau laser, Publication de la Soudure Autogene, 1989.
- [FER 97] FERRASSE S., VERRIER P., MEESEMAECKER F., "Resistance spot weldability of high strength steels for use in automotive industry", The IIW 50h Annual Assembly, San Francisco, Doc. no. III-1076-97, 1997.
- [GEY 93] GEYSEN M. et al, Tolerances en soudage laser de forte puissance, Institut de Soudure, 1993.
- [GRE 78] GREGORY E.N., Welding zinc-coated steels, Welding Institute Publication, 1978.
- [HON 00] HONGPING G., A New Method of Laser Lap Welding of Zinc-coated Sheet, Section C-ICALEO, 2000.
- [NOR 94] NORME FRANQAISE A 87-001, Caracterisation de la soudabilite par resistance par points de produits plats revetus ou non, December 1994.
- [PRA 88] PRANGE W. et al., "Utilisation de la soudure par laser des toles fines", Revue de Metallurgie, 1988.
- [VER 99] VERRIER P., "Fabrication et utilisation des flans raboutes pour l'industrie automobile", Revue de Metallurgie, 1999.
- [WES 93] WESTGATE S., LEWIS C., "Current voltage waveform developed in typical AC/DC resistance welding power sources", Int. Inst. Weld., Doc. no. III-1022-93, 1993.
- [WES 93] WESTGATE S., LEWIS C., "Comparison between electrical efficiency of AC and DC power sources for spot welding zinc coated steels", Int. Inst. Weld., Doc. no. III-1020-93, 1993.
- [XIE 99] XIE J. et al., "Laser lap welding of galvanized steel with no gap", International Body Engineering Conference, September 1999.
- [XIE 99] XIE J. et al., Single-sided Laser Welding of Galvanized Steel, .Cooperative Research Program EWI, 1999.

12тарау.

Тот баспайтын болатты дәнекерлеу

12.1 Анықтамалар

Қысқаша Оксфорд сөздігінен анықтама «тот баспайтын болат»: «тот басу мен коррозияға ұшырамайтын хромды-болат қорытпасының түрі» осы металдар үшін аса дәл сипаттама емес.

Ең жақсы анықтама төмендегідей болады:

- егер қоршаған ортада ол қоршаған ортадағы атмосфералық құбылыстардың әсерінен өткізбейтін хром оксидінің өте жұқа қабытымен табиғи түрде бірден жабылып қалатын болса, онда болат *тот баспайтын* деп аталады,
- онда тот баспайтын болат *белсенді емес* деп аталады;
- егер болат 12%-дан кем емес хормды құраса, онда ол тот баспайтын деп аталады (стандарттарға сәйкес 10,5%).

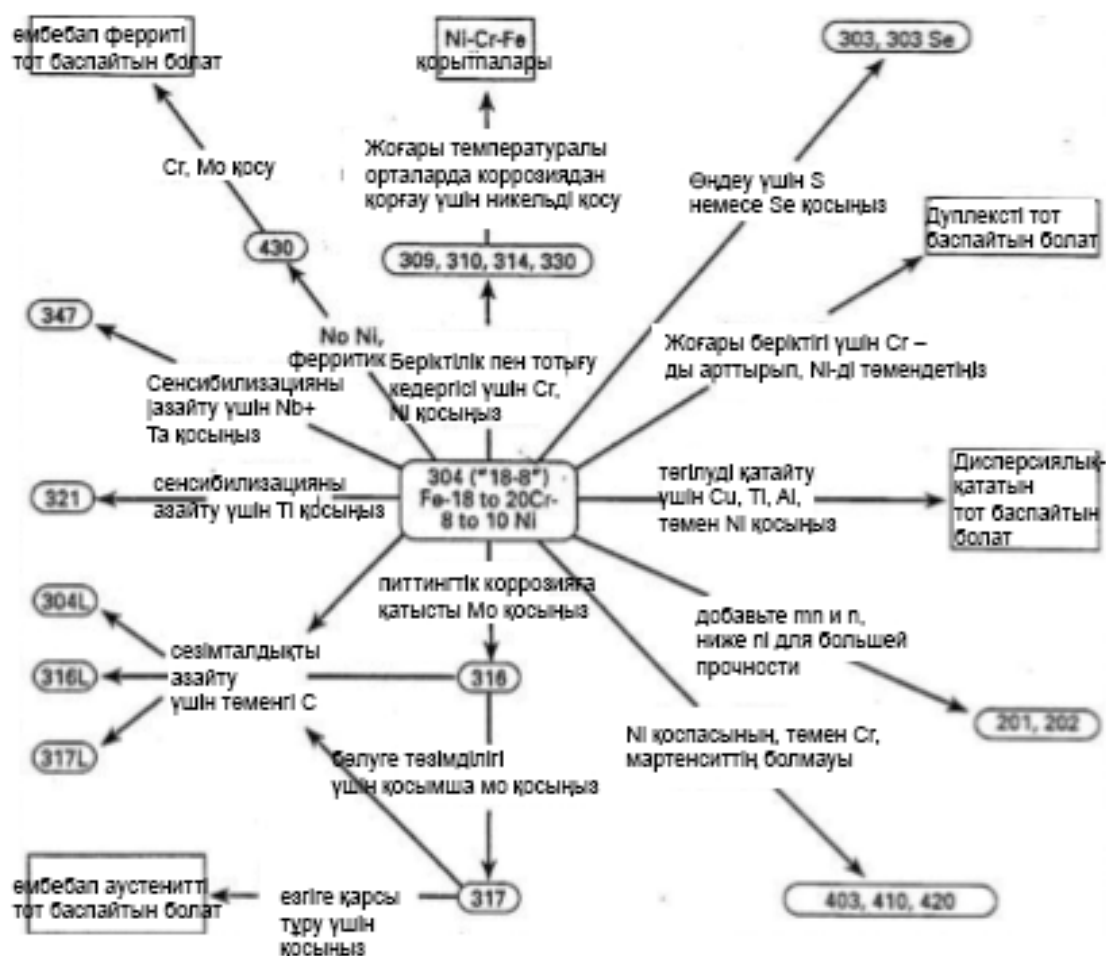
12.2 Тот баспайтын болаттың негізгі топтары

Тот баспайтын болаттарды олардың құрамы мен металлургиялық құрылысы бойынша негізгі бес топқа бөлуге болады (12.1-кестесін қараңыз).

Аралық құрылымдар мен аналитикалық ерекшеліктер негізгі топтардың арасында орналасқан немесе соларға қосылған ішкі топтарды туындатады. Атап айтқанда, бұл әдеттегідей, мартенситті-ферритті болаттар және мартенситті немесе дисперсиялық беріктетумен аустенитті болаттар болып табылады.

12.1-кесте Тот баспайтын болаттардың бес негізгі тобы

Топ	Негізгі элементтер	Қоспалайтын элементтер	Ықтимал стабилизаторлар
1 – Мартенситті болат	Cr 10.5 – 17% C >0.1%	Mo – V	
2 – Ферритті болат	Cr 10.5 – 29%	Mo – Al	Ti – Nb – (Zr)
3 – Аустенитті болат	Cr 16 – 18% Ni 8 – 13%	Mo – Cu Mn – N	Ti – Nb
4 – Ыстыққа төзімді болат (аустенитті)	Cr 20 – 25% Ni 10 – 20%	Si	
5 – Аустенитоферритті болат	Cr 20 – 25% Ni 4 – 7% N 0.1 – 0.3%	Mo – Cu	



12.1-сурет Тот баспайтын болаттардың жіктемесі

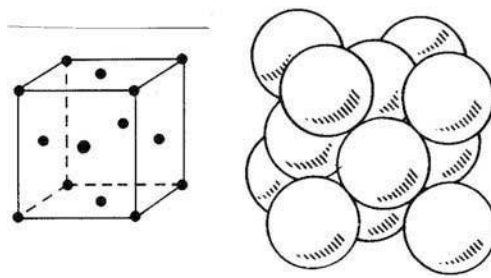
Осы тот баспайтын болаттардың барлығы негізгі аустенитті болаттан AISI 304 (EN 1.4301) басқаларға қарағанда белгілі бір қасиетке қол жеткізу үшін қоспаларды немесе бір немесе бірнеше элементті енгізу жолымен алынуы мүмкін. Бұл 12.1-суретте айқын сипатталған (америкалық жіктеме).

12.3 Металлургиялық құрастырылымдар

Тот баспайтын болаттар өзінің атауын алатын үш негізгі құрылымды, сондай-ақ төртінші, аса тұрақты емес, бірақ, суық деформация кезінде беріктету құбылыстары үшін маңызды құрылымды береді.

– **Аустениттер үшін:**

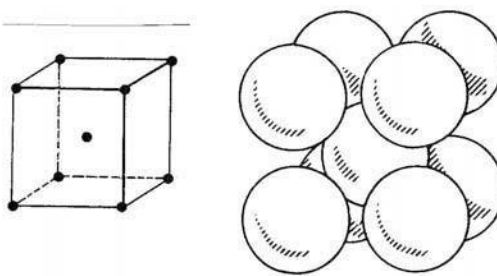
- Қырлы орталықтандырылған кубтық құрылым (ҚОҚ-құрылым),
- Магнитті емес,
- жұмсақ, бірақ тым мықталатын,
- құйылмалы және өңдеуге аздап жататын.



12.2-сурет Аустенит

– Ферриттер үшін:

- көлемді-орталықтандырылған кубтық құрылым (КОК-құрылым) ,
- ферромагнитті,
- жұмсақ және дайындамада онша шыңдалмайтын,
- құйылмалы және өңдеуге аздап жататын.



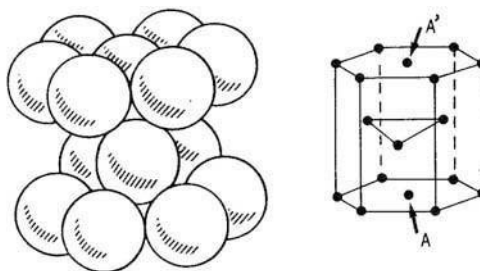
12.3-сурет Феррит

– Мартенситтер үшін:

- көлемді-орталықтандырылған кубтық құрылым (КОК-құрылым) ,
- ферромагнитті,
- қатты және осал,
- онша құйылмалы емес және өңдеуге жарамсыз.

– Алтықырлы шағын құрылым:

- Құрылымдардың ең тығызы,
- суық мықтау кезінде А аустенитінен мартенситке айналу



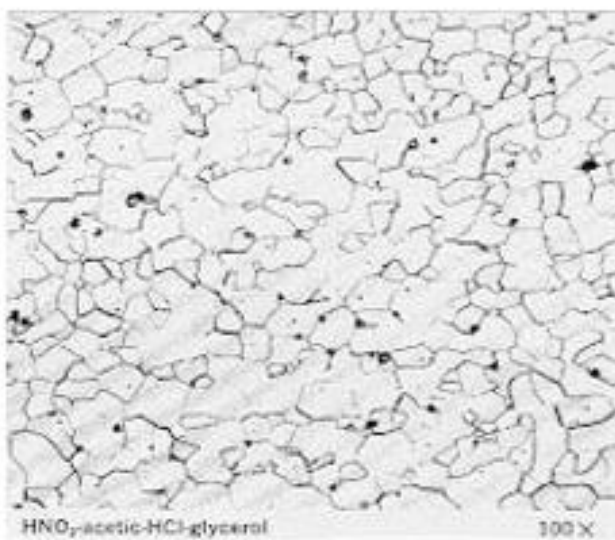
12.4-сурет Гексагональды шағын құрылым

Кейбір негізгі құрылымдардың микрографикалық бейнелері 12.5, 12.6 және 12.7-суреттерде берілген.



аустенит
AISI 304
EN 1.4301

12.5-сурет AISI 304 EN 1.4301 аустенитінің құрылымы



мартенсит
AISI 409
EN 1.4512

12.6-сурет AISI 409 EN 1.4542 ферритінің құрылымы



феррит
AISI 409
EN 1.4512

12.7-сурет AISI 630 EN 1.4542 мартенситінің құрылымы

12.4 Жағдайдиаграммалары

12.4.1 Кіріспе

Адамзат әрдайым болашақты болжауға ұмтылған. Бұл үнемі оңай бола бермейді, бірақ өнеркәсіп болжауға біршама бейім.

Атап айтқанда, дәнекерлеушілер өздері (немесе олардың клиенттері) құрастыру барысында тап болатын тікелей немесе болжамды тәуекелдерді болжағысы келеді. Олар қандай ресімді пайдалану дұрыс болатынын, ал қоспа материалы қажет болатын болса, онда металлургиялық тұрғыдан олардың қайсысы ең жақсысы екенін білгісі келеді.

Альфа-гена әсерінің негізінде (феррит құрылыуына септігін тигізетін) және *гамма-гена* әсерінің негізінде (аустенит құрылымын қолдайтын) металдың құрылымын оның дәнекерлеу жағдайында болжау мақсатында диаграммалар әзірленген.

Осы диаграммалар орнатылған, ал содан соң өзгертілген және уақыт өте, балқытылған аймақтардың дәнекерлеу жағдайындағы микрографикалық құрылымын зерделеудің көмегімен жақсартылған.

Регрессивті есептеулер түрлі авторлардың назарға алынатын және диаграммалар үшін координаттар ретінде пайдаланылатын түрлі элементтердің әсері үшін альфа-гена және гамма-гена коэффициенттері ретінде пайдаланылатын Cr (хром) және Ni (никель) баламаларын есептеу формулаларын анықтауға мүмкіндік берді.

12.4.2 Баламалы формулаларды есептеу

12.2-кестеде Cr және Ni негізгі баламалы формулалары, осы уақытқа дейін пайдаланылған және пайдаланып отырған формулаларды шектеместен, берілген.

Шеффлер тот баспайтын болаттардың дәнекерлеуін болжауға тырысқандардың алғашқысы болып табылады. Осылайша, ол сол кездегі қолданыста болған тот баспайтын болаттардың сұрыптарына арналған Cr_{eq} және Ni_{eq} беретін формуланы алғашқы болып жасаған.

1960-жылдары Делонг азоттың гамма әсерін интеграциялады, ол оны көміртек секілді мықты деп есептеді.

1970-жылдары Эспи Шеффлердің есептеулерін қолданып және олардың қолдану аясын кеңейтіп (басқалардың ішінде, азот, марганец және дуплекс) келесіні анықтаған және ұсынған:

- ванадийдың және алюминийдың альфа-гена айтарлықтай әсері,
- гамма-гена әсері, бірақ азоттың құрамы бойынша безбенделген,
- марганцевті гамма-геннің тұрақты әсері.

1980-жылдардың соңында *Дәнекерлеу саласындағы зерттеулер бойынша кеңес* жеңілдетілген формулаларды жасады:

- Si альфа-гендік әсерлерді болдырмау (болаттар үшін күмәнді, Si құрамы оларды 0,1-ден 2% дейін құбыла алады) V, Al, Ti және т.б.;
- устранение постоянного эффекта Mn гамма-геннің тұрақты әсерін болдырмау, бірақ оны диаграммаға қосу жолымен,
- исправление эффекта C және N гамма-геналардың әсерін болдырмау, аздап түрін өзгертумен.

Кестеде келтірілген басқа формулалар кейінірек қарастырылатын мүлдем басқа қолданумен байланысты.

12.2-кесте Есептеулер формуласы

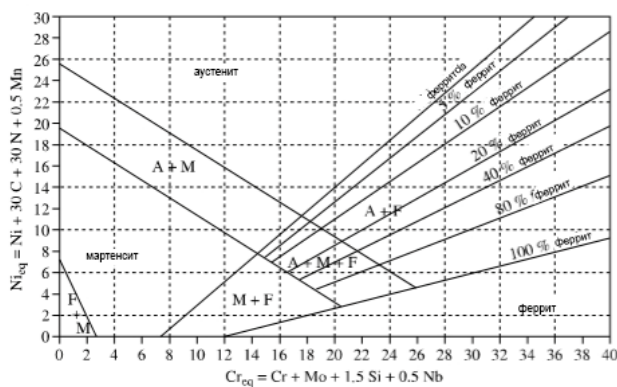
	Creq	Nieq
Шеффлер	$Cr + Mo + 1.5 Si + 0.5 Nb$	$Ni + 30 C + 0.5 Mn + 0.6 Cu$
Делонг	$Cr + Mo + 1.5 Si + 0.5 Nb$	$Ni + 30 (C + N) + 0.5 Mn$
Дәнекерлеусала сындағызерттеу лербойыншабюл летень (WRC) 1992	$Cr + Mo + 0.7 Nb$	$Ni + 35 C + 20 N + 0.25 Cu$
Эспи	$Cr + Mo + 1.5 Si + 0.5 Nb + 5 V + 3 Al$	$Ni + 30 C + x (N - 0.045) + 0.87 + 0.33 Cu$ $x = 30 \text{ if } N = 0/0.20$ $x = 22 \text{ } N = 0.21/0.25$ $x = 20 \text{ } N = 0.26/0.35$
	$Cr + Mo + 1.5 Si + 0.5 (Nb + Ta) + 2Ti + W + V + Al$	$Ni + 30 C + 0.5 Mn + 0.5 Co$
Хаммар және Свенссон	$Cr + 1.37 Mo + 1.5 Si + 2 Nb + 3 Ti$	$Ni + 22 C + 14.2 N + 0.31 Mn + Cu$
Экенрот және Ковач (12% Cr)	$Cr + 4 Mo + 6 Si + 8 Ti + 2 Al$	$4 Ni + 40 (C + N) + 2 Mn$

12.4.3 Жағдай диаграммалары

Келесі беттерде түрлі диаграммалар ұсынылған. Олар дәнекерленетін балқытылған металдың құрылымын болжау үшін пайдаланылады.

– Шеффлердің тәсімі

Бұл қысыммен түтіктерді өндірушілер, атап айтқанда әртекті дәнекерлеу жапсарыны арналған анағұрлым танымал және анағұрлым кеңінен пайдаланылатын диаграмма



12.8- сурет Шеффлердің диаграммасы

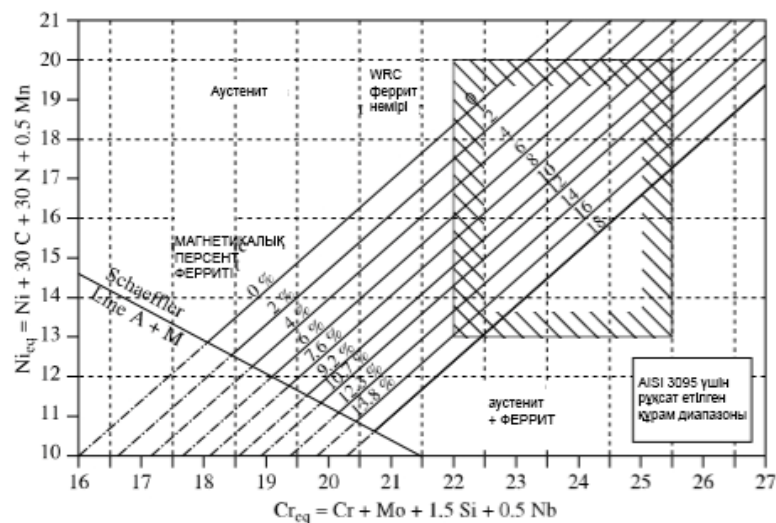
Осы диаграмманың бір маңызды кемшілігі бар, ол марганецтың және/немесе азоттың жоғары құрамы бар сұрыптар үшін жарамсыз.

Аустенитті тот баспайтын болаттағы біртекті жапсарлар толығымен болған кезде немесе балқытылған металдың талдауы белгілі болған жағдайда, дәнекерленетін металдағы ферриттің құрамын есептеу Шеффлердің диаграммасынан шығарылатын Сефериан формуласы бойынша есептелуі мүмкін:

$$\% \text{ феррит} = 3 (Cr_{eq} - 0.93 Nieq - 6.7)$$

Делонгдиаграммасы

Азотты гамма-геннің әсері ретінде есептеу У. Делонгтың Шеффлердің диаграммасынан өзгеше диаграмманы құруына мәжбүр етті.



12.9-сурет Делонгтың диаграммасы

Әдетте тот баспайтын болаттан жасалған қысымдық түтіктердің құрастырылымында пайдаланылатын осы тәсімнің екі кемшілігі бар:

- атап айтқанда, оның шектеулі қолдану аясы оны гетерогенді дәнекерлеу үшін жарамсыз етеді,
 - марганецтың және/немесе азоттың жоғары құрамы бар сұрыптар үшін пайдалануға болмайды.
- Эспидың диаграммасы

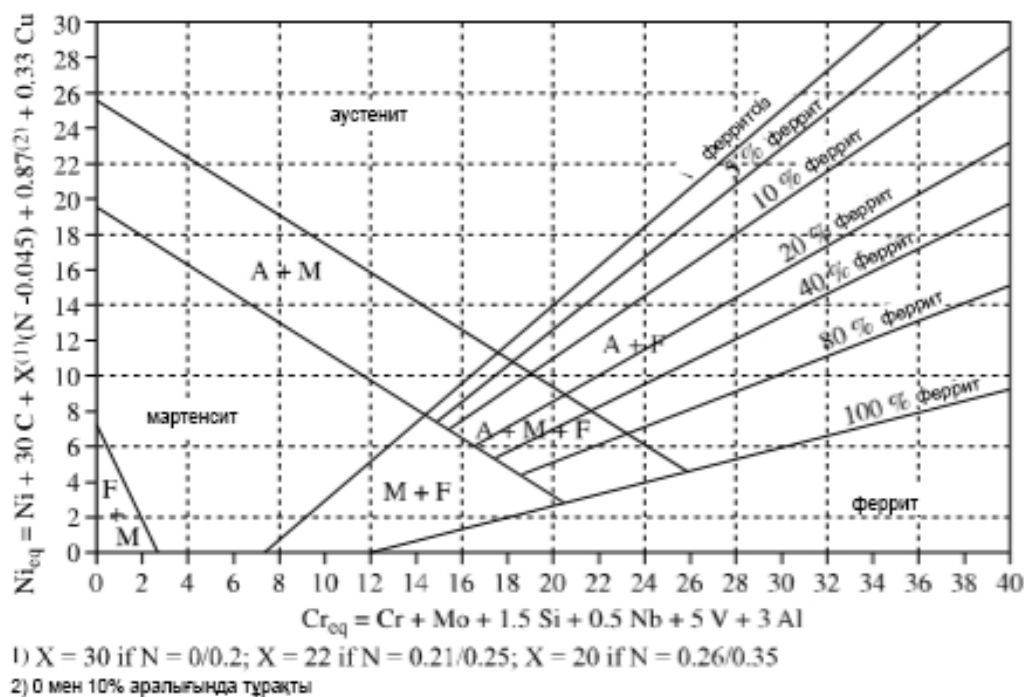
Бұл C_{eq} және Ni_{eq} баламалы есептеу формуласына арналған Шеффлердің диаграммасы.

Осы диаграмма марганецтың және/немесе азоттың жоғары құрамы бар тот баспайтын сұрыптар және дуплекс-үдеріспен балқытылған болаттар үшін жақсы жарамды.

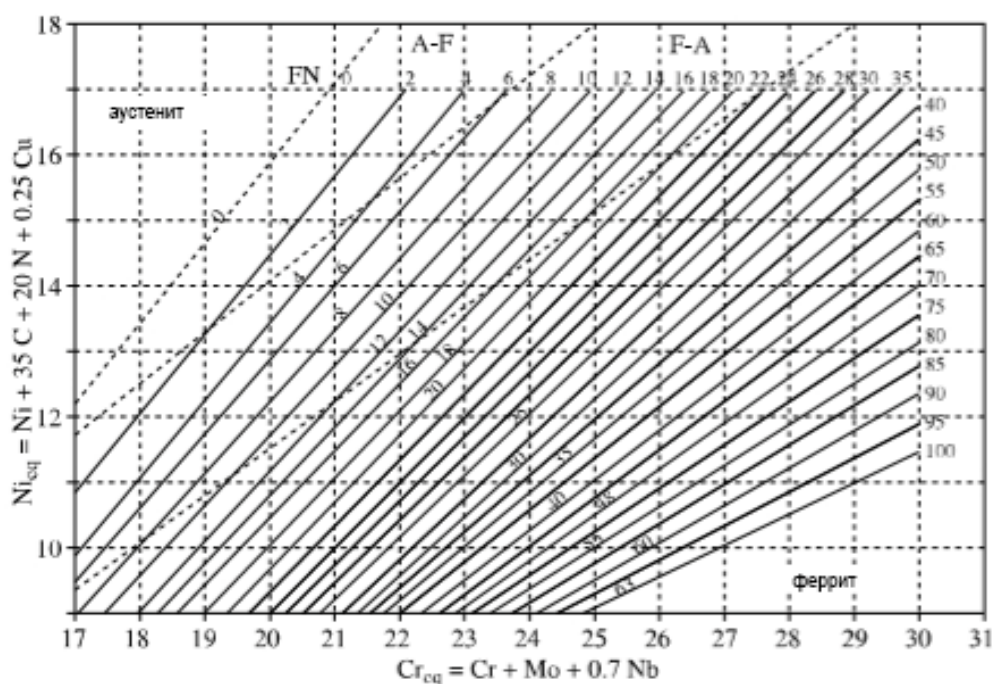
- WRC92 диаграммасы

Бұл ең қарапайым, бірақ өкінішке орай, анағұрлым дәл емес диаграмма:

- C_{eq} және Ni_{eq} есептеу үшін элементтердің саны азайтылған,
- Шектелген қолдану аясы, бұл оны гетерогенді дәнекерлеу жапсарлары үшін қолайсыз етеді.



12.10-сурет Эспиң диаграммасы



12.11-сурет WRC 92 диаграммасы

Бастапқыда осы диаграмма тек FN бойынша (ферриттер саны немесе ферриттердің индексі) бөліктенген, онда сызық бойынша ферриттің құрамын %-ға ауыстыру мүмкін болмаған, ол оны жүзеге аспайтындай етті. Осы ақау жөнделген, ал енді бөлектеу FN –мен де, %-бен да жүргізіледі.

– Түрлі диаграммаларды салыстыру

Түрлі диаграммалардың артықшылықтар мен кемшіліктері 12.3-кестеде келтірілген.

12.3-кесте Түрлі диаграммаларды салыстыру

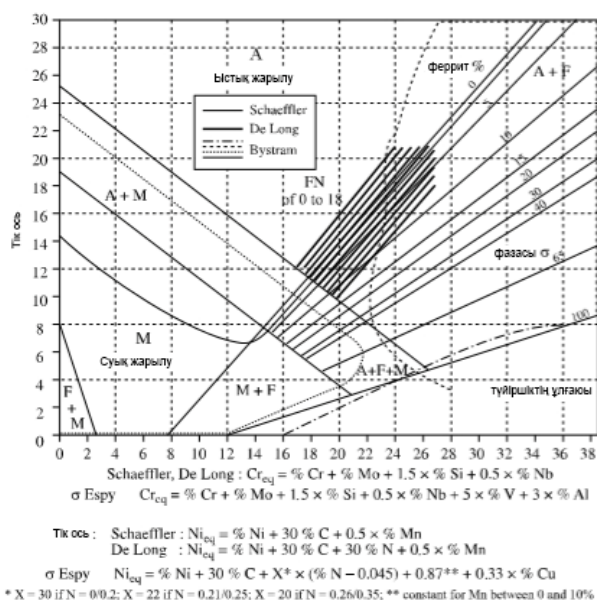
Диаграмма	Артықшылықтар	Кемшіліктер
Шеффлер	- Біртекті емес дәнекерлеу - Қолдану ауқымы	- Жоғары емес Mn (>2%) - Жоғары емес N (>0.10%) - Аса дәл емес (феррит >20%)
Делонг	- мақұлданған ASME - феррит % және FN	- шектеулі өріс $Cr_{eq} > 16$ $Ni_{eq} > 10$ феррит <20% - Жоғары емес Mn (>2%) - Жоғары емес N (>0.10%)
Эспи	- Біртекті емес дәнекерлеу - Қолдану ауқымы Элементтер көп жоғары Mn и/ немесе N	- не совсем точен (феррит >20%)
WRC 92	- Еуропада стандартталған (стандарт EN...) - жеңілдетілген есептеу	- бірнеше элемент - шектеулі өріс $Cr_{eq} > 17$ $Ni_{eq} > 9$

Бистрам диаграммасы

Бистрам диаграммалары қалыптың диаграммалары болып табылмайды, бірақ оларды қабаттастыру кезінде төрт басты тәуекел ймағын анықтаға мүмкіндік береді:

- ыстық шытынаудың пайда болу тәуекелі,
- сигма-фазаның пайда болуқұрылу тәуекелі,
- суық шытынаудың пайда болу тәуекелі,
- металл түйірлерінің арту тәуекелі.

12.12-суретте берілген толық диаграмма нөлдік тәуекел өрісі біршама кішірейтілгенін және түрлі тот баспайтын металдардың бір немесе бірнеше жоғарыда аталған тәуекелдерге бейім екенін көрсетеді (тіпті, бір мезгілде екеуіне де)



12.12-сурет Толық диаграмма

12.5 Ферритті тот баспайтын болатты дәнекерлеу

12.5.1 Кіріспе

Ферритті тот баспайтын болаттар тобы жалпы Fe-Cr-C үштік диаграммаға негізделген химиялық құрамдардың маңызды ауқымын қамтиды. Осы болаттар кем дегенде 11,5% хромды, ең көбі 0,1% көміртекті құрайды.

Ең бастысы, осы болаттардың қасиеті коррозиялық төзімділікке байланысты хромды құрауына негізделген.

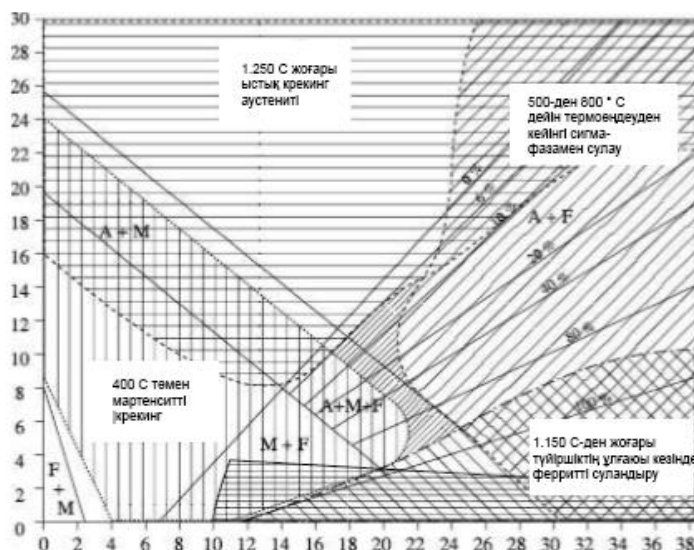
Дәнекерлеуге келер болсақ, ферритті тот баспайтын болаттар белгілі бір сыни қасиеттерді сақтаған жағдайда дәнекерленеді.

12.4-кесте Ферритті тот баспайтын болаттармен байланысты сыни қасиеттері мен қауіпсіздік шаралары

Сыни қасиеттері		Қауіпсіздік шаралары	
C	§ ерімейтін $\ddot{Y}$ карбидтер	$\ddot{Y}$ коррозия	Тұрақтандыратын өңдеу
N2	нитридтер		
Түйірлер артуының тәуекелі			
Ерімейтін H2 $\ddot{Y}$ морттану		H2 и N2 тыйым салынған	

12.5.2 Дәнекерлеу кезінде туындайтын тәуекелдер

Ферритті тот баспайтын болаттар, іс жүзінде 11,5 –тен 29%-ға дейін көміртектің аз құрамынан және басқа да қосындылайтын элементтерден тұратын хромды құрайды (Мо коррозиялық сипаттамалар үшін, Al температуралық режимдер үшін, Ti және/ немесе Nb тұрақтандыратын өңдеу үшін).



12.13-сурет Шеффлер –Бистрам диаграммасындағы ферритті тот баспайтын болаттардың қалпы

Шеффлер–Бистрам диаграммасындағы тот баспайтын болаттардың қалпы келесі болаттар дәнекерлеу кезінде көрсететін тәуекелдерді көрсетеді:

- жартылай ферритті болаттар, әсіресе сутегіне сезімталдығы жоғарылары үшін суық шытынаудың пайда болу тәуекелі,
- металл аралық қосындылардың (V фазасы)пайда болу тәуекелі, кем дегенде хромның аса жоғары баламасы бар болаттар үшін. Термоқайталымдардың жылдамдығын ескере отырып,

- V фазасының пайда болуы әдетте дәнекерлеу рәсімінің барысында күтілмейді,
- дәнекерлеу энергиясы неғұрлым жоғары болса соғұрлым болуы ықтимал түйіршік артуының тәуекелі.

Және ең соңында, ферритті тот баспайтын металдарға қатысты аса маңызды тұсты атап өткен жөн: өңдеуді титанмен және/немесе ниобиймен тұрақтандыратын дәнекерлеудің көптеген түрлерін анықтайтын көміртек пен азоттың тым төмен ерігіштігі, оны алгоритмы мен басқа нәтижелері төменде келтірілген.

12.5.3 Тұрақтандыратын өңдеу

Осы тәуекелдердің көбісі болаттың тұрақтандырылған түрін пайдаланған кезде болмайды немесе азаяды.

Стабилизирующие элементы (Ti, Nb) представляют собой элементы, карбиды и нитриды которых образуются, отдавая предпочтение хрому во время термической обработки. Они используются для захватывания углерода и азота.

Тұрақтандыратын өңдеу бірнеше рөлді атқарады. Шын мәнінде, біз көміртек пен азоттың ферритте іс жүзінде ерімейтінін білеміз; тұндырылған карбидтер мен хром нитридтері қоршаған матрицамен хром шоғырлануының төмендеуінің нәтижесінде кристалл аралық коррозияны туындатады; операциядан кейінгі термиялық өңдеулер үнемі оңай бола бермейді немесе оңай орындалмайды; ферритті құрылым түйірлерінің артуы термиялық өдеуге келмейді; өңдеу операциясы жоспарланғаннан бастап, бірден Ti немесе Nb тұрақтандырылған маркаларын немесе тіпті Ti + Nb *бітұрақтандырылған* типтерін пайдалану табанды түрде ұсынылады.

Тұрақтандыратын өңдеудің көптеген нәтижелерін төмендегідей қорытындылауға болады:

- титанмен тұрақтандыратын өңдеу титан нитридын сұйық түрінде тұндырумен (жақсы серпіндік тұтқырлықты арттыратын теңбілікті құрылымды алу үшін балқыту аймағында жағымды жағдайды тудыра отырып, қатаю осы TiN ұрықтарының айналысында жүреді), сондай-ақ, титан нитридтарының айналысында титан карбидтарын қатты қалпында 1050 °C шамасында тұндырумен сипатталады;
- ниобиймен тұрақтандыратын өңдеу ниобийдың карбонды нитридын қатты қалпында 1150/1200 °C шамасында тұндырумен және Fe₂Nb интерметаллидты 600 және 950 °C арасында жоғары температура кезінде жылжымалылықтың сипаттамалары үшін жағымды болжамды түйірлерді бұғаттау әсерімен сипатталады;
- ниобийдың немесе титанның карбонды нитриды феррит түйірлерінің артуына сезімталдықты бәсеңдетеді;
- титан мен ниобий мықты «гамма-геннің», көміртектің және азоттың элементтерін «қамти отырып», мартенситтің туындауын болдырмауға мүмкіндік беретін ферритті тұрақтандыру үрдісіне ие.

Тұрақтандыратын өңдеудің анағұрлым көп таңдалатын формулалары:

- $Ti\% > 0.2 + 4 (C\% + N\%)$,
- $Nb\% > 0.15 + 7 (C\% + N\%)$.

12.5.4 Морттану тәуекелдері

Ферритті тот баспайтын болаттың морттануының төрт тәуекелі бар:

- 475°C кезінде морттану,
- Сигма-фаза,
- Жоғары температурада морттану,

– Қиманың сезімталдығы.

475°C кезінде морттану

Аустенитті-ферритті тот баспайтын болаттар 475°C кезінде хроммен нашар араласудың салдарынан (сондай-ақ молибденмен) Fe-Cr қоспасында морттануға сезімтал (400 және 600 °C), осы орайда хромға бай (30%) фаза құрылуы орын алады.

Өзінің саласында тұрақты осы фаза тым ұзақ кезеңдерден кейін құралады. Оны тым сирек байқауға болады. Дәнекерлеу ресімінен кейінгі 475°C кезінде морттанудан қауіптенбесе де болады.

Сигма-фаза

Сигма-фаза темір-хром жүйесінде пайда болатын металл аралық қосындыны береді. Міне сондықтан, біз оны осы тарауда атап өтеміз, алайда ол ферритті және жартылай ферритті болаттарды дәнекерлеу кезінде айтарлықтай рөл атқармайды. Сигма-фаза қатты және морт болады және оның дәнекерлеу жапсарында пайда болуы тіпті ойық болмаған кезде де температураны бәсеңдетіп көтерген кезде жойылмайтын нағыз морттануға алып келуі мүмкін.

Осы орайда, бөлме температурасында төмен серпіндік тұтқырлыққа ие ферритті және жартылай ферритті болаттардың дәнекерлеу жапсарларында сигма-фазаның пайда болуы осы дәнекерлеу жапсарларында қайталама болып қалады.

Сигма-фаза 45% хромның құрамына негізделген құрамға ие, ол 550°C –тан жоғары ұзақ өңдеу кезінде, шамамен 22%-дан астам хромнан тұратын темір-хром типті қоспаларда болуы мүмкін.

Жоғары температура кезінде морттану

Ұзақ уақыт бойы жоғары температураны ұстауға байланысты морттануға көптеген аналитикалық та құрылымдық та факторлар әсер етеді: хромның және түйінаралық қосындылардың құрасы, түйірдің көлемі, тұнбалардың сапасы мен таралуы. Жоғары температурада дәнекерлеу ресімі морттануға алып келмейді.

Кесіктің әсеріне сезімталдық

Хромның төмен құрамымен (Cr <15%) жартылай ферритті тот баспайтын болаттар қиманың әсеріне сезімтал емес.

Екінші жағынан 15% -дан астам хромды құрайтын болаттар үшін сезімталдық аралық қосындылардың (C + N) құрамына байланысты және хромның артуымен бірге арта түседі.

Осы сезімталдықты азайтудың жалғыз тәсілі C+N құрамын оларды өте төмен деңгейде ұстаумен (түйірлердің артуын абайлау қажет) немесе оларды тұрақтандыратын элементтердің (Ti, Nb) көмегімен тежей отырып, бақылау болып табылады.

12.5.5 Қосындылайтын материалдар

Қосындылайтын материалдар әдетте аустенитті тот баспайтын болаттан тұрады. Дегенмен де, олардың ықтимал деформацияны болдырмау қабілеті тұрғысынан айтарлықтай артықшылыққа ие, біртекті дәнекерлеу жапсарларын қалыптастыруға мүмкіндік беретін ферритті қосындылайтын өнім сұрыптарының болуын атап өту маңызды.

Қосындылайтын өнімді таңдау негізгі металдарға сәйкес жүзеге асырылады: дәнекерлеу кезіндегі және қалып диаграммасына қатысты жоғалтудың орнын толтыру үшін қосындылайтын материал негізгі материалдардың ең асылына қарағанда барынша қоспалы болуы тиіс.

Қосындылайтын материалдардың келесі стандартталуы бар:

- Америкалық дәнекерлеу бойынша мамандардың стандарты:
- S.F.A. 5.4 – Электродтар,
- S.F.A. 5.9 – Жалаңаш сым,

- S.F.A. 5.22 – Толтырылған сым;
- Еуропалық стандарт:
 - NF EN 1600 – Электродтар,
 - NF EN 12072 – Жалаңыш сым,
 - NF EN 12073 – Толтырылған сым.

12.5.6 Қорғаныс газдары

12.5-кестеде ферритті тот баспайтын болатты дәнекерлеру үшін пайдаланылатын қорғаныс газдары H_2 және N_2 алынып тасталынғанын, ал CO_2 ұсынылмайтынын (3%-дан кем) ескерумен келтірілген.

12.5-кесте *Қорғаныс газдары.*

Ресім	TIG	MIG
Бастапқы газ	Ar	Ar + O ₂ (<3%)
Қоспалы газ	Емес (<20%)	емес (<20%)

12.5.7 Түйіндеме: жеке қорытынды

Ферритті тот баспайтын болаттарды алдын-ала қыздырусыз немесе одан кейінгі қыздырусыз 12.6-кестеде баяндалған ұсыныстарды сақтай отырып *дәнекерлеуге* болады.

12.6-кесте *Ұсыныстар*

Ұсыныстар	Күрес
Тұраұтандырылған болаттар маркасы	Коррозиямен Металл түйірінің артуымен Жоғары температурада морттанудың артуы Кесікке сезімталдық
Ферриттің қаттылығы	Мартенситтің жартылай ферриттегі %
Дәнекерлеудің төмен энергиясы	Металл түйірінің артуы Морттанудың артуы
H_2 N_2 ТЫЙЫМ САЛЫНҒАН	Суық шытынау Коррозия
CO_2 лайықты емес	C Ë Ò <u>Карбидтер</u>

12.6 Мартенситті тот баспайтын болаттарды дәнекерлеу

12.6.1 Кіріспе

Мартенситті тот баспайтын болаттардың тобы коррозиялық қасиеттердің белгілі бір деңгейімен қаттылықтың жоғары деңгейін қамтитын, онымен қоспалы болаттарда салыстырмалы және мартенситті беріктету жолымен алынуы мүмкін болаттардан тұрады (хромның құрамының арқасында).

Әдетте, осы топ, төмен көміртекті мартенситі біршама жұмсақ болатын, бірақ сипаттамалары орташа температурада (500-ден 750 °C-қа дейін) термиялық өңдеу жолымен айтарлықтай жақсартылатын, қатаятын металл аралық қосындыларды тұндыруды қамтамасыз ету үшін орынды таңдалған белгілі бір құрылымдық-беріктету болаттарын қамтиды.

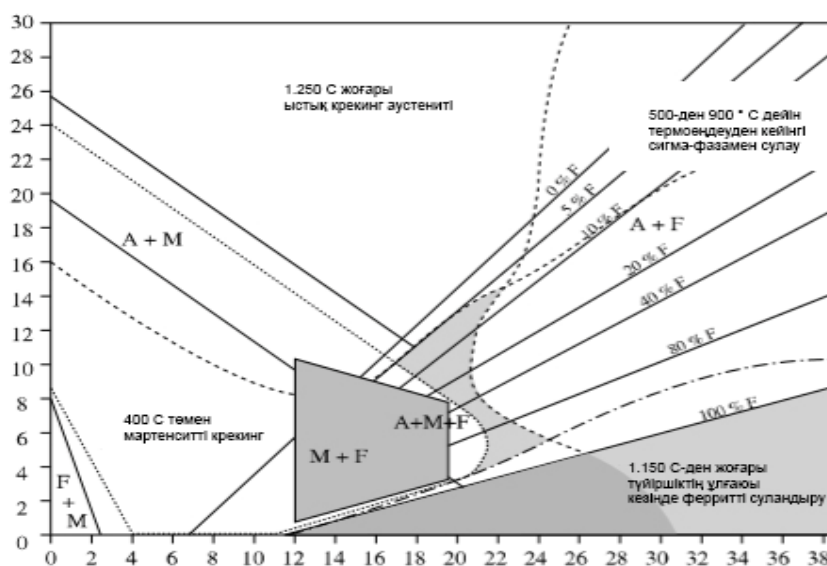
12.14-суретте Шеффлер–Бистрамның диаграммасы мартенситті тот баспайтын болаттардың және құрылымы беріктелетін болаттардың орталықтануын сызбалық түрде көрсетеді.

1 250°C-тан жоғары температурада аустенитте ыстық шытынау

Термиялық өңдеуден кейін сигма-фазакезінде морттандыру

400°C-тан төмен температурада мартенситте мартенситтік шытынау

1150°C-тан жоғары температурада түйірлердің арту жолымен ферритті морттандыру



12.14-сурет Шеффер–Бистрамның мартенситті тот баспайтын болаттарға және құрылымы беріктелетін болаттарға арналған сызбасы

Тот баспайтын мартенситті болаттар көміртектің баламалы пайыздық құрамымен термиялық өңделген қоспалы болаттармен дәнекерлеу кезінде ұқсас қасиеттерге ие және осылайша тура солай өңделеді.

12.6.2 Мартенситті тот баспайтын болаттардың тізімі

Негізгі мартенситті тот баспайтын болаттардың және тұнбалармен еріктетілген болаттардың EN 10.088-2 стандартынан алынған толық емес тізімі төмендегі 12.7-кестеде келтірілген.

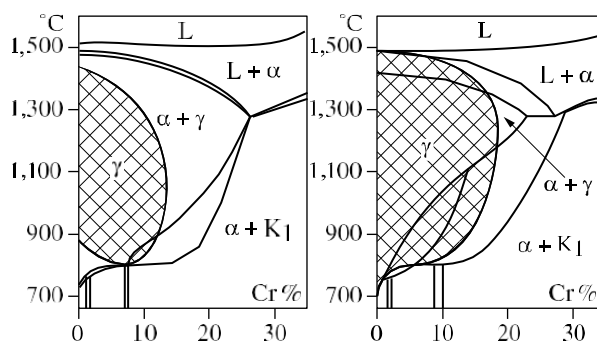
X12Cr13	
*X12CrS13	S = 0.15/0.35
X20Cr13	
X30Cr13	
*X29CrS13	S = 0.15/0.35
X39Cr13	
X46Cr13	
X50CrMoV15	V = 0.10/0.20
X70CrMo15	Mo = 0.40/0.80
*X14CrMoS17	S = 0.15/0.35; Mo = 0.20/0.60
X39CrMo17-1	
X105CrMo17	Mo = 0.40/0.80
X90CrMoV18	Mo = 0.90/1.30; V = 0.07/0.12
X17CrNi16-2 X3CrNiMo13-4	
X4CrNiMo16-5-1	Mo = 0.30/0.70
X5CrNiCuNb16-4	Cu = 3.00/5.00; Nb = 5xC/0.45
X7CrNiAl17-7	Al = 0.70/1.50
X8CrNiMoAl15-7-2	Al = 0.70/1.50
X5CrNiMoCuNb14-5	Mo 1.20/2.00; Cu = 1.20/2.00; Nb = 0.15/0.60

12.7-кесте EN 10.088-2 стандартынан үзінді

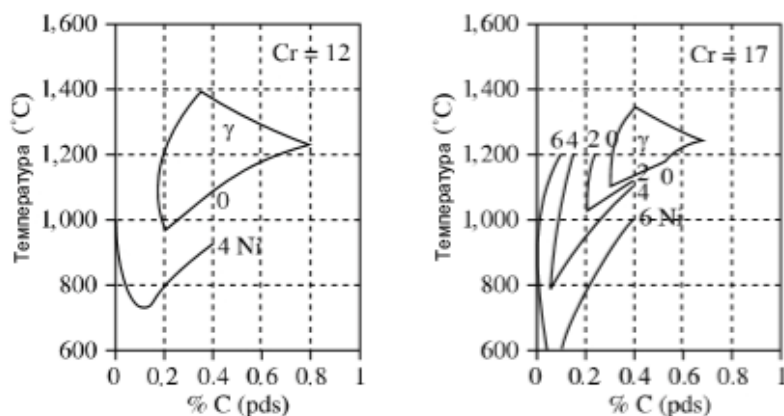
12.6.3 C, Cr және Ni элементтерінің J ілмегіне әсері

Мартенситті тот баспайтын болаттар төмен температурада (d 400°C) MS және MF арасында диффузиясыз жүретін $\gamma \rightarrow \alpha$, фазалық өтумен сипатталады.

Қарастырылатын сұрыптар Cr байырақ болуы мүмкін, себебі гамма-геннің C және Ni секілді элементтері неғұрлым көбірек болса, жоғары температурада J өрісі соғұрлым тұрақтылау болады.



12.15-сурет γ ілмегін көміртеппен созу



12.16-сурет J өрісін Ni көмегімен кеңейту

12.6.4 Мартенситті тот баспайтын болаттардың металлургиялық дәнекерленуі

На диаграмме Шеффлер–Бистрамның диаграммасында болаттың осы түрлері мартенситті айналу интервалынан оңға қарай орналасқан, яғни біршама жемір емес орталарда жақсы коррозиялық төзімділікті қамтамасыз ету үшін Cr жеткілікті жоғары құрамымен (12%-ға тең немесе одан астам) орналасқан. Дәнекерлеу жапсарларындағы (балқыту аймағында және балқыту аймағынан тікелей жақындықтағы термиялық әрекет аймағында) бір фазалы J-өрісінен жоғары температурада тез суыту бөлме температурасында G-ферриттің болуына септігін тигізеді. Осы аймақтарда құрылым «балғын» мартенситтен (шыңдалғаннан кейінгі қалып) және мүмкін G-ферриттен, сондай-ақ болаттың көптеген қосындыланған сұрыптары үшін қалдықтық аустениттен тұрады. Олардың мартенсит секілді кейбіреулері сондай-ақ, шыңдалудан кейінгі қалпында аустенитті қоспалы материалмен дәнекерлеу жапсарларының термиялық әрекет аймағында болады. Осындай мартенсит суық шытынаулардың пайда болуына сезімтал болады (ықтимал түрлі жарыллулармен сутекті морттану) және оның үстіне көміртектің пайызы неғұрлым көбірек болған сайын (қатты мартенсит) соңғұрлым көбірек сутегі болады және термиялық кернеу де жоғарылау болады. Осылайша, көптеген жағдайларда, пайда бола салысымен, мартенситтің шамалы кернеуін түсіруді жүзеге асыру үшін және сутегі бірінші J-қоспаларында металл шөгуіне бейім емес температуралқ диапазонда фазалық өтумен туындаған кернеуді шектеу мақсатында материалдарды <MS, бірақ MF-ке жақын температурада алдын-ала қыздыру және содан кейін қыздыру маңызды болап табылады. Содан соң, осы сұрыптарды жұмсарту үшін (шамамен 550-ден 750 °C-қа дейін сұраптр мен қалаулы қаттылық деңгейіне байланысты) пайдаланылатынға баламалы температуралы диапазонда дәнекерлеу жапсарының кернеуін түсіру қажет.

Аустенитті қосындылау материалы бар дәнекерлеу жапсарына келер болсақ, (308L, 309L және т.б.) «кернеуді түсіру» үшін D өңдеуі мүмкін емес, себебі ол D' көміртегінің J-ға қатысты диффузиясына және хромдық бөлінгендерді түйірлердің (сенсбилизациялау) шекарасы бойынша тұндыру арқылы J-дың коррозиялық төзімділігінің төмендеуіне алып келуі мүмкін. Кернеуді түсіру шамамен 250 °-та мартенситтің термиялық әрекет аймағында мүмкін болады.

Жоғары көміртеккі және ресульфаттанған сұрыптарды дәнекерлеу құпталмайды, ал төмен көміртекті болаттарды, оның ішінде, бөлме температурасына жақын MF бар төмен көміртекті қосындылануы жоғары сұрыптары үшін (Ni, Mo және т.б.) дәнекерлеу (C <0,05%) алдын-ала қыздырусыз жүзеге асуы мүмкін. Осыған мүмкіндік беретін өнімдер үшін дәнекерлеуден соң, ауыр өнімдердегі одан әрі беріктендірумен аустениттеуді жүргізуге

болады, ол нақты жағдайда ауыр металдарда дисперсиялық-қатаю тұндырмасымен балқыту және коррозия аймағында механикалық сипаттамаларды алуға мүмкіндік береді. Кедергі құйылған бұйымның кедергісімен салыстырмалы. Дәнекерлеу үдерісі ырғақты/серпінді тұтқырлықтың қасиетіне айтарлықтай әсер етеді, атап айтқанда, осы қасиеттерге әсер ететін, дәнекерлеу кезінде жабындалған электродқа енгізілетін оттегі секілді элементтерді енгізу арқылы әсер етеді.

Азоттың зиян екенін және әсіресе, H_2 және N_2 сутегінің ресми түрде газдық қорғанысты қажет ететін дәнекерлеуде пайдаланылуына тыйым салынғанын ескере отырып, жұқа өнімдерді алу үшін осы болаттар нүктелік кедергі тәсілімен, білікшемен және балқыты арқылы жасарлас дәнекерлеумен дәнекерленеді.

12.6.5 Қорытынды: толық емес шолу

Жалпы алғанда, мартенситті тот баспайтын болаттардың дәнекерленуі төмендегіден тұрады. Мартенситті құрылым сутекті морттанумен байланысты суық шытынау-жарылу (айырылып кету) құбылысына сезімтал. Осы құбылым көміртектің құрамы барынша аз болған сайын, сутегінің құрамы да төмен және кернеу деңгейі де төмен жағдайда азырақ көрінеді. Жоғары көміртекті ($> 0,30\%$) немесе ресульфаттанған болатты дәнекерлеу ұсынылмайды. Төмен көміртекті сұрыпты болаттарды ($<0,05\%$) дәнекерлеу алдын-ала немесе артынан қыздырусыз мүмкін, бірақ кернеуді/жұмсартуды түсіру үшін өңдеу қажет болады. Осы мүмкін болған жағдайда *аустениттендіру + беріктендіру механикалық кедергі/созылымдылық/коррозиялық төзімділіктің арасында ең жақсы мәмілені қамтамасыз етеді.*

12.7 Аустенитті тот баспайтын болатпен дәнекерлеу

12.7.1 Кіріспе

Аустенитті тот баспайтын болаттар оларды болаттардың барлық қалған санаттарынан айқын ерекшелейтін керемет қасиеттерге ие бола бастады. Осыған байланысты, құрылысына, құрылымына және осы қоспаларды пайдалануға қатысты қағидалардың белгілі бір санын, дәнекерлеу кезінде болатын құбылыстардың негізгі түсініктеріне тоқталу пайдалы болмақ.

Аустенитті құрылым мен никельдің болуы хромды болаттардың коррозиялық төзімділігін, әсіресе аздап тотықтырғыш немесе қалпына келтіргіш орталарда жақсартады. Мұнымен қоса, аустенитті тот баспайтын болаттар келесі қасиеттермен сипатталады: көтеріңкі тұтқырлық және соққыға беріктік, морттанусыз айтарлықтай шықтырушылық, оның ішінде төмен температурада да, тұрақсыздықтың шынайы шегінің болмауы, жоғары температурада көтеріңкі механикалық беріктік және бірегей дәнекерлену.

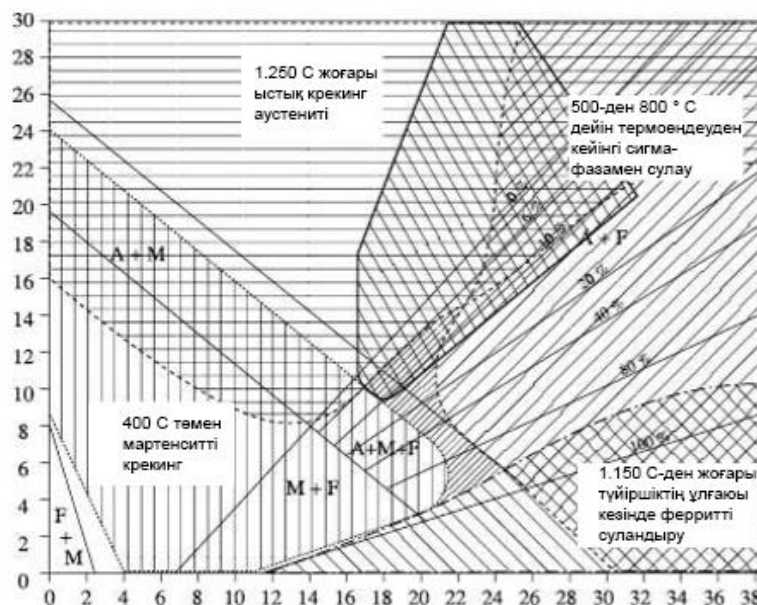
12.7.2 Дәнекерлеу кезінде туындайтын тәуекелдер

Аустенитті тот баспайтын болаттар тобы Шеффлер-Бистрамның диаграммасында көрсетілгендей ауқымды (12.17-суретт қараңыз).

Осы диаграммадан көретініміздей, аустенитті тот баспайтын болаттар сұрыбына байланысты тәуекелдің екі түріне тап болады:

- V-фазасының кезінде анағұрлым қосындыланған болаттардың морттануы; осы пайдалану кезіндегі шынайы тәуекел дәнекерлеу жұмыстары кезінде тым шектеулі болып қалады, осы орайда қыздыру мен суытудың жылдамдықтары жалпы алғанда тұндыруды бастау үшін тым

- жоғары;
- дәнекерлеу кезінде шынайы тәуекелді беретін ыстық шытынау және біз оны кейінірек қарастыратын боламыз.



12.17-сурет Шеффнер–Бистрам аустенитно-ферритті тот баспайтын болаттардың диаграммасы нержавеющей сталей

Осы диаграммада сипатталмаған басқа тәуекел хром карбидтерінің қоспасында (Cr_{23}C_6), ол кристалл аралық коррозияның синонимі болып табылады.

12.7.3 Карбидтердің бөлінуі

Аустенитті тот баспайтын болаттарда көміртектің болуы, олар 500-ден 850°-ге дейінгі диапазонда ұзақ уақыт бойы ұсталатын температуралардың әсеріне ұшыраған кезде, олардың коррозиялық төзімділігінің нашарлауының себебі болуы мүмкін.

Көміртектің орташа құрамы бар сұрыптар үшін (0,04% және одан да көп) карбидтердің зақымдану аймағында қайта тұндырылуы мүмкін.

Қандай жағдай болмасын, болат өндіруші осындай тұнбалардың болуын екі тәсілмен азайта алады немесе жоя алады: тұнбаға түсуі мүмкін көміртектің санын азайтатын көміртектің пайыздық мазмұнын азайту және қайта тұндырудың жылдамдығын (температуралардың диапазоны азаяды және ұзақтығы шамалы арттырылады) өзгерту немесе хромға қарағанда көміртекке жақындығы көбірек элементті қосу арқылы, осылайша, қосылған элементтер әдетте титанды немесе ниобийды береді. Карбидтерді Ti (TiC) және ниобийды (NbC) қайта тұндыру M_{23}C_6 тұндырылатын температуралардың диапазонынан асатын температуралардың диапазонында орын алады және сәйкесінше, қамтылған көміртек осы соңғы тұндыруға қатыса алмайды.

12.7.4 Ыстық шытынаулардың пайда болуы

«Ыстық шытынау» термині жиі пайдаланылуына қарамастан, ол осы сөзбен қамтылған құбылыстардың көбісін сипаттауға тура келмейді. Шын мәнінде, осы жалпылама ұғыммен біз шытынауды термиялық әрекет аймағында да, металды балқыту аймағында да, сондай-ақ, шытынау пайда болуының түрлі механизмдерінде де табамыз.

Ыстық шытынауды алуан түрлері

Ең алдымен, ыстық шытынаудың қасиеттерін атап өткен жөн. Осындай шытынаулар әсер ету аймағында немесе металды балқыту аймағында көбіне шағын көлемді болып келеді. Олар көбіне балқыту сызығына (ТБА) перпендикулярлы, қатаю бағытына немесе дәнекерлеу астауының білігіне параллельді болып айтарлықтай көп болып табылады. Мұнымен қоса, олар дәнекерлеу кезінде пайда болатын жалғыз шытынау болып табылатын, көбіне аустенитті болаттарда кездеседі.

Екі механизм кренингке әкелуі мүмкін: сұйылту және материалдың икемділігінің болмауы. Шытынауды екі механизм туындатуы мүмкін: сұйылту және материалдың созылымдылығының болмауы.

Сұйылтудың салдарынан шытынау жоғары температурада (шамамен 1250°C) түйіраралық шекарада металл қатты болғандағы сұйық фазалардың болуымен түсіндіріледі. Кез-келген кернеу сұйық үлдірлерді жылжыту арқылы ашуға мүмкіндік береді. Бұл балқытылған металдың қатаюы кезінде (қатаюды локалдық іркілту) немесе термиялық әрекет аймағында немесе қайтара қыздыру кезінде балқытылған металда (сегрегацияланған фазаларды уақытынан бұрын балқыту, мысалы, екінші өту кезінде) орын алуы мүмкін.

Тұтқырлықтың болмауына байланысты шытынау алдыңғыға қарағанда төменірек температураларда (шамамен 1000°C) орын алады. Ол жерде дешытынау балқылытылған металда қатаю кезінде немесе балқытылған металда дәнекерлеу қайталымы кезінде жеткілікті температурада қыздыру кезінде орын алуы мүмкін (барынша кешірек өтумен екінші белсенділік).

ЕСКЕРТУ: көбіне шытынаулар ликвациядан және созылымдылықтың жеткіліксіздігінен болуы мүмкін, ал ликвацияның шытынауы одан кейінгі бұзылуға алып келетін бастапқы ақау болып табылады.

Ыстық шытынаулардың пайда болу механизмі

Аустенитті болаттың дәнекерленген қосындысы (MZ, термиялық әсер аймағын және алдын-ала қыздырылған білікшені қоса алғанда) қоспаның және балқытылған металдың немесе термиялық әсер аймағының дендрит аралық кеңістігінде жоғары температурада (1200 °C-тан астам) қарқындайтын қоспаның әсерінен туындайтын шытынау орталығында болуы мүмкін. Бұл когезияның төмен деңгейімен сұйық үлдірді құрайтын, балқытудың төмен температуралары бар элементтерді текстуралық біріктіру кезінде локалдық байытудан туындайды. Күкірт, фосфор және бор секілді белгілі элементтердің болуы осындай шытынауға септігін тигізеді.

Алгоритм қатаюдың басты режимімен анықталған. Егер бірінші қатаю аустенитте орын алатын болса (эвтектика нүктесінен солға қарай J-қатаю), онда тегістелген жеңіл балқитын фазалары бар *базальтты* типтің артуы орын алады. Егер бірінші қатаю ферритте болатын болса, (эвтектика нүктесінен оңға қарай J-қатаю), онда шашылыңқы жеңіл балқитын қосылулармен дендритті типтегінің артуы орын алады және сәйкесінше, ол анағұрлым мор болады.

Қатаюдың екі режимінің аражігін ажырататын эвтектиканың қалпы басты сызбаларға сәйкес келесі қатынаспен анықталады:

$$\text{Cr балама} / \text{Ni балама} = 1.5$$

Осылайша, аустенитті тот баспайтын болаттардың ыстық шытынаулардың пайда болуына бейімділігін оңай болжауға болады.

Шешу жолдары

Аустенитті тот баспайтын болаттарда ыстық шытынаулар пайда болу тәуекелін азайту немесе болдырмау үшін берілетін ең басты кеңес- әсер етуді азайтудың барынша мүмкіндігімен сақинаны шектеу және балқыту аймағында $\text{C}_{\text{req}}/\text{Ni}_{\text{eq}}$ қатынасын 1,5 көп есе қамтамасыз ететін материалды және/немесе жинақтағышты таңдау болып табылады. Егер, осы қатынас орындала алмаса, дәнекерлеу энергиясын шектей отырып және өте тиімді

қорғанысты қамтамасыз ете отырып, дәнекерлеу шарттарын ретке келтіру (тым көп емес, тым аз емес) қажет.

12.7.5 Сигма-фаза

В (Fe, Ni, Mn, Co и т. д.) өтпелі элементін және А (Cr, Ti, V и т. д.) өтпелі элементін құрайтын металл қорытпалары формулалары B_4A -дан BA_4 дейін құбылуы ықтимал металл аралық фазаларды құруы мүмкін.

V-фаза металл аралық қосындылардың ішіндегі ең танымалы. Айтарлықтай қалыңдығы бар көп өтпелі дәнекерлеуді қоспағанда, дәстүрлі аустенитті тот баспайтын болаттарды дәнекерлеу кезінде V-фазаның құрылуы аса сирек кездеседі, себебі осы үдеріс біршама жәй болып табылатындығы соншалықты, бұл хром мен молибденнің жоғары құрамы бар аустенитті болаттар секілді өтпелі элементтердің жоғары құрамы бар болаттардың жағдайында орын алмайды. Осы тәуекелді дәнекерлеу энергиясын азайтып және термиялық тәуекел аймағындағы өткізген уақытты қысқарту үшін суыту жылдамдығын жылдамдатып болдырмауға болады. Бұл балқыту аймағына және әсер ету аймағына қолданымды.

12.7.6 Қосындылайтын өнімдер

Әдеттегідей, тотбаспайтын болатты дәнекерлеу құрамы бойынша негізгі материалға жақын қосындылау материалымен біртекті болуы тиіс, осы орайда, мүмкіндігінше ыстық шытынау тәуекелінен тыс балқытылған аймақты алу қажет.

Қандай жағдай болмасын, қосындылау материалы негізгі металмен салыстырғанда артық қосындыланған болуы тиіс: дәнекерлеу үдерісіндегі жоғалтудың орнын толтыру үшін және хромның басқа элементтері үшін, бұл дәнекерлік жапсардың коррозиялық төзімділігін арттыру үшін немесе дәнекерлеу таза аустенитті болып қалуы керек болғанда, оның ыстық шытынауға төзімділігін жақсарту үшін қажет болады. Бұйымдардың қосындылайтын материалдары стандартталған.

12.7.7 Қорғаныс газы

Аргонға негізделген қорғаныс газдарының барлығын аустенитті тот баспайтын болаттарды дәнекерлеу кезінде тәуекелсіз пайдалануға болады, оның ішінде:

- G құрамы әлсіз болып қалатындықтан, ($d10\%$ балқыту аймағында) дәнекерлеу жылдамдығын арттыру үшін сутегімен қосындыланған газдар;
- аустениттегі азоттың ерігіштігі жоғары болғандықтан, азотпен қосындыланған газдар;
- өздері азот құрайтын болаттарды дәнекерлеуге арналған газдар.

12.8-кесте Қорғаныс газдар

	TIG	MIG
Қорғаныс газ	Аргон (1 1)	Ar + O ₂ (M 13) Ar + CO ₂ (M 12)
Қорғаныс газдар	He (<20%) (L 3) H ₂ (<10%) (R 1) N ₂ (<10%)	He (<20%) He (<15%) M 11) N ₂ (<10%)
Негізгі газ	Ar (I 1) Ar + H ₂ (R 1)	Ar (I 1) Ar + H ₂ (R 1)

12.8 Аустенитті-ферритті тот баспайтын болаттарды дәнекерлеу (дуплексті үдеріс)

12.8.1 Кіріспе

Аустениттегі шамамен 0% ферритпен және 50% аустенитпен негізгі металдың микроқұрылымы, әдетте, суда одан әрі қатайтумен 1050 және 1100°C аралығындағы температураны ұстағаннан кейін мүмкін бола бастады.

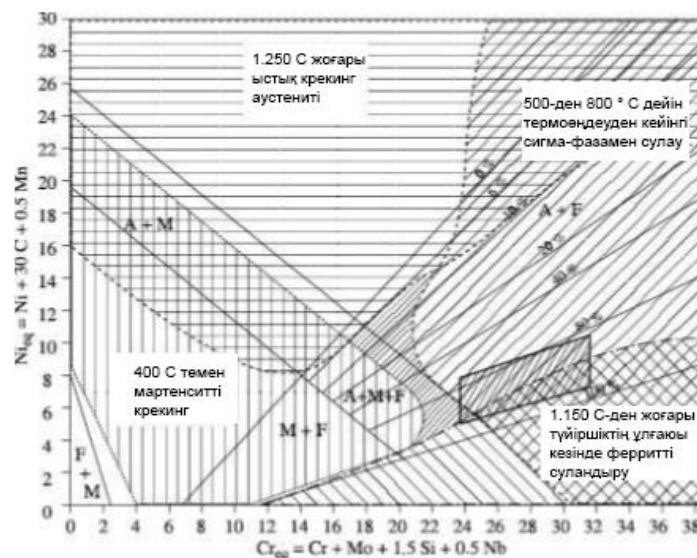
Дуплексті аустенитті-ферритті деп аталатын болаттың 36-ға тең немесе одан асатын 22,5% Cr және PREN (нүктелік коррозияның кедергілік баламалық саны) бар. Оның кепілденген созылымдылық шегі 500 МПа.

Супердуплексті аустенитті-ферритті деп аталатын болаттың 25% Cr және 40-тан астам PREN бар. Шартсыз созылымдылық шегі 550 МПа-дан жоғары. Болаттың дуплекс үдеріспен балқытылған жоғары техникалық қасиеттері жабдықты жобалау кезінде абсолюттік қысуға мүмкіндік береді.

Молибден мен азоттың құрамы коррозиялық төзімділіктің ең жақсы қасиеттерін, оның ішінде ең қалың табақтарға арналған қасиеттерін алу үшін оңтайластырылған. Аустенитті-ферритті болаттардағы азоттың жоғары құрамы жақсы микроқұрылымдық тұрақтылықты, әсіресе термиялық әрекет аймағындағы микроқұрылымдық тұрақтылықты қамтамасыз етеді.

12.8.2 Дәнекерлеу кезінде туындайтын тәуекелдер

Шеффлер-Бистрамның диаграммасындағы дуплекс-үдеріспен балқытылған болаттардың орталықтандырылуы дәнекерлеу кезіндегі басты тәуекел металларалық фазаларды тұндыруда, атап айтқанда σ фазаны тұндыруда.



12.18-сурет Шеффлер-Бистрам диаграммасындағы аустенитті-ферритті тот баспайтын болаттардың сызбасы

12.8.3 Аустенитті-ферритті тот баспайтын болаттардың тізімі

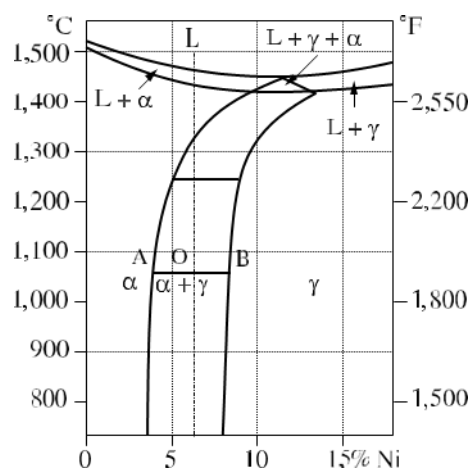
Келесі толық емес тізім EN10 088-2 стандартынан алынған.

12.9-кесте Негізгі аустенитті-ферритті тот баспайтын болаттар

Мақсаты	N (%)	Басқалар
X2CrNiN23-4	0.05/0.2 0	Cu = 1% Cu = 0.7% W = 0.7%
X3CrNiMoN27-5-2	0.05/0.2 0	
X2CrNiMoN22-5-3	0.10/0.2 2	
X2CrNiMoCuN25-6-3	0.15/0.3 0	
X2CrNiMoN25-7-4	0.20/0.3 5	
X2CrNiMoCuWN25-7-4	0.20/0.3 0	

12.8.4 Аустенитті-ферритті болаттардың дәнекерленуі

Жаңа еуропалық стандартта назарға алынған болаттар шамамен 0,28%-ға дейінгі азотты, көміртектің төмен құрамын (0,05%-дан төмен немесе соған тең) және Cr, Ni, Mo және мүмкін Cu және W ферриттің қатаюын қаматамасыз ететін санын, содан соң, егер фазалық теңгерімге қол жеткізу үшін суыту жылдамдығы айтарлықтай жәй болса G ферриттің (шамамен 50%) аустенитке ішінара түрленуін қамтиды 12.19-сурет).



12.19-сурет Фазалардың диаграммасы

Дәнекерлеу жапсарында (термиялық әсер аймағы мен балқыту аймағы біртекті) суытудың жоғары жылдамдықтары теңгерімге қол жеткізуге кедергі келтіреді, ал ферриттің құрамы суыту жылдамдығы артқан сайын арта түседі. Азоттың құрамын ұлғайтқан кезде нәтижесі, әсіресе N = 0,25% болатын болаттың дуплексті сұрыбы үшін онша біліне бермейді. Дәнекерлеу жапсарының қасиеттері δ/γ қатынасына байланысты болғандықтан, осындай қатынасты болжай білу маңызды. Қолжетімді бағдарламалардың ішінде Шеффлер-Эспи диаграммасы ең қолайлысы секілді. Дегенмен, дәнекерлеу жапсарының құрамына негізделген және суыту жылдамдығын ескеретін анағұрлым дәл формулалар бар.

Ферриттің құрамын азайту үшін, әсіресе, құрамы реттеуге келмейтін ТӨА және БА – да толтырғышсыз, дәнекерлеудің жоғары энергиясын пайдалану қажет және бәлкім, дәнекерленетін өнімдерді алдын-ала қыздыру және суыту жылдамдығын шектеу қажет.

болады.

Бұл үшін болат сұрыбының сезімталдық деңгейін шамамен 800°C-та (атап айтқанда, σ -фазалар құрылған кезде) және 475°C-та (α' - Cr фазасын және бәлкім ϵ - Si тұндыру) шоғырланған екі температуралық диапазонда орын алуы мүмкін ферриттің құрылымдық өзгерістеріне туралау қажет. Бір жағынан, бұл суыту жылдамдығын (жоғары температура өрісі), екінші жағынан, қыздыру температурасын (төмен температура өрісі) шектейді.

12.8.5 Қосындылайтын материалдар

Қосындылайтын материалға келер болсақ, ол бір жағынан дәнекерлеуден кейінгі қалпындағы мінсіз екі фазалық құрылымға қол жеткізуге оңтайландырылуы тиіс, ал екінші жағынан, дәнекерлеу жапсарының аймағындағы коррозияға төзімділіктің болуы мақсатында құйылған бұйыммен салыстырмалы болуы тиіс. Бірінші мақсатқа қосындылайтын материалдағы никельдің құрамын арттыру және осылайша, балқыту аймағындағы гамма-генінің шоғырлануын арттыру арқылы қол жеткізіледі. N-ге қарағанда, Ni артықшылықты, ол төмен температурадағы серпінді тұтқырлықты төмендетеді. Алайда, дәнекерлеу кезінде азоттың бір бөлігі булану үрдісіне бейім, ол анағұрлым альфа-гендік коррозияға азырақ төзімді композицияның құрылуына алып келеді (PREN). Дәнекерлеу кезіндегі осы әсермен күресу үшін 2-ден 3%-ға дейін азотты құрайтын газ пайдаланылуы тиіс, себебі осы элемент қосындыланған металға ішінара қоспаланады.

Көп өтпелі дәнекерлеу кезінде ферриттің саны қайталанатын дәнекерлеуде 50%-дан айтарлықтай төмен болуы мүмкін, ал қайтара қыздырған кезде екінші аустениттің айтарлықтай саны құрылады, ол бірінші аустенитке қарғанда коррозияға төзімді болуы мүмкін. Алайда, осы әсер азот құрамын арттырудың есебінен айтарлықтай деңгейде жоққа шығады.

Дәнекерленген қосындының коррозияға төзімділігі тура осындай құрамы бар негізгі металға қарағанда төменірек. Осы болаттар олардың механикалық кедергісі мен коррозияға төзімділігінің арасындағы мәміле үшін пайдаланылатындықтан, тым қатты коррозиялық орталарда дәнекерлеу жапсарының осал тұс болмағаны маңызды. Осы шартты ұстанған жағдайда, дәнекерлеуге жататын болаттың сұрыбына баламалы қосындылайтын материалдың құрамын Cr және Mo-ны шамалы ұлғайту арқылы бейімдеуге болады, ол жоғарыда баяндалғанды ескере отырып, қосылған металдың оңтайлы бөлінуіне алып келеді. Коррозияға анағұрлым бейім орталарда дәнекерлеу жапсарын анағұрлым қосындыланған аустенитті-ферритті қоспалайтын материалды пайдалана отырып, немесе, асыра дуплексті болаттарды дәнекерлеу үшін Cr және Mo жоғары құрамы бар Ni –ге негізделген қоспалайтын материалды пайдаланып, «қайта балқытқан» қолайлылау болады.

12.8.6 Қорғаныс газдары

Өнімді шығарушылар ұсынатын сым/флюс немесе сым/газ қисындастыруы дәнекерлеу жапсарының салмақты мәселесінің тәуекелінсіз ажыратылуы мүмкін емес, ал жабындалған электродтар мен дәнекерлеу флюстары өндірушілердің нұсқаулықтарына сәйкес мұқият пісіп қалады.

Дуплексті немесе супердуплексті болаттарды плазмалық TIG- және MIG-дәнекерлеуде немесе импульсті MIG-дәнекерлеуде газдардан қорғаныс тым маңызды. Балқытылған металды қышқылданудан қорғаумен қатар, дәнекерлеу газы сондай-ақ, балқытылған металдан кез-келген азот жоғалуын да болдырмауы тиіс.

Қазіргі кезде, газдардың көптеген қисындастыруларына, оның ішінде, TIG немесе плазмамен дәнекерлеуге арналған Ar + N₂ бинарлы газдар, және MIG-дәнекерлеуге және импульсті MIG-дәнекерлеуіне арналған үштік Ar + CO₂ + N₂ немесе төрттік Ar + CO₂ + He +

N₂ газдар.

Сутегі қосылған дәнекерлеу газдарын аустенитті-ферритті болатты дәнекерлеу үшін пайдалануға рұқсат берілмейді.

12.9 Біртекті емес дәнекерлеу

12.9.1 Анықтамалардың көрсеткіші

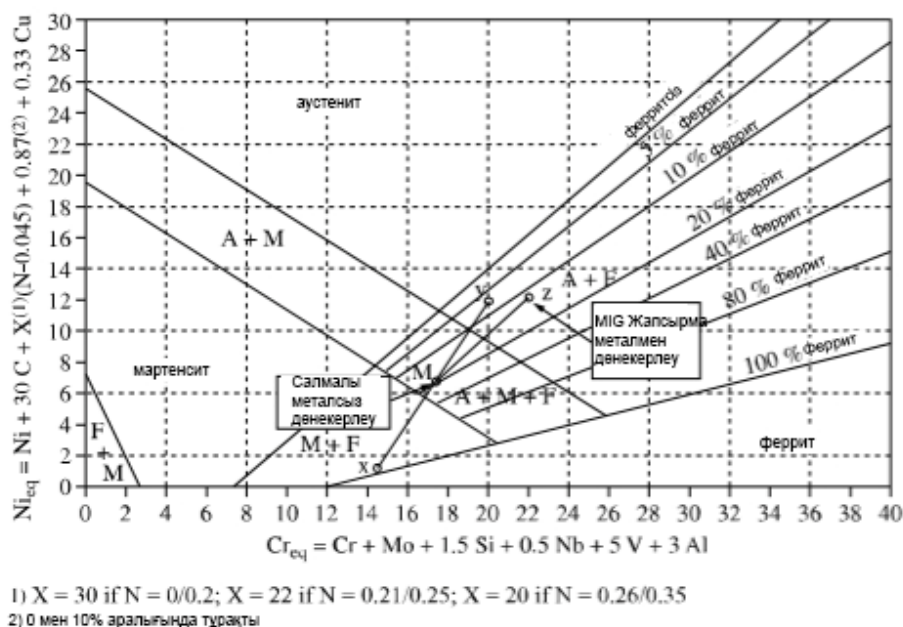
Екі негізгі материал мен қоспалық материалдың салыстырмалы құрамы болған кезде дәнекерлеу *гомогендік* деп аталады. Мысалы, екі болаттың AISI 316 L (EN 1.4404) 316 LSi (EN 12.072 - 19.12.3 L) қоспасымен MIG-дәнекерлеуі.

Құрамы бірдей екі негізгі материал қоспалайтын материалсыз жиналғанда дәнекерлеу *автогендік* деп аталады. Мысалы: AISI 304 (EN 1.4301) екі тот баспайын болатты түйіндестіріп дәнекерлеу.

Кем дегенде, үш материалдың бірі (негіз немесе қоспалайтын материал) басқаларынан өзгеше болғанда дәнекерлеу *гетерогендік* деп аталады. Мысалы: AISI 409 (EN 1.4512) металлы және AISI 304 (EN 1.4301) металының арасындағы ER 308 LSi (EN 12.072 - 19.9 л) қспамен MIG-дәнекерлеу.

12.9.2 Дәнекерлеу жапсарларының біртекті болмауын өңдеу және болжау

Осындай өңдеу қалып диаграммасын пайдаланудың арқасында жүзеге асады. Механизм қарапайым және 12.20-суретте келтірілген.



12.20-сурет Тану сызбасы

X және Y екі материалы қоспалайтын материалсыз дәнеерленген кезде, материалдардың тиісті талдауы оларды диаграммада беретін нүктелерді анықтауға мүмкіндік береді. Балқытылған металды беретін нүкте, егер екі материал бірдей көлемде балқытылған болса (M нүктесі), онда X және Y екі элементінің ортасында орналасқан, атап айтқанда,

ХҮ сызығының ортасында орналасқан.

Х және Y екі материалын және Z қоспалайтын материалды MIG-дәнекерлеу жағдайында зерттеулер диаграммадағы X, Y және Z қалыптарын анықтауға мүмкіндік береді: ХҮ беретін жылжу нүктесі, алдыңғы нүкте секілді (М нүктесі), ал ХYZ беретін жылжыу нүктесі осы мысалдағы 25%-дық сұйылтуды ескерумен (В нүктесі) М және Z нүктелерінің ауырлық ортасында орналасады.

Балқытылған металдағы әрбір элементтің безбенделген қалпын пайдаланумен есептеуді орындауға болар еді, бірақ, ол әдеттегідей, ұзақ және азырақ байқалады.

Бистрам диаграммасын енгізу балқыту аймағының нүктелерін беретін орналасу кезінде қоспалайтын материалсыз тәуекелді немесе жағымсыз дәнекерлеу ықтималдығын; қосымша материал қажеттігін болжауға мүмкіндік береді; және осы жағдайда балқыту аймағына арналған тәуекелсіз аймақты алу үшін қандай қоспалайтын материал барынша көбірек қолайлы екенін болжауға мүмкіндік береді.

12.10 Дәнекерлеу жапсарларын өңдеу

Өңдеу дәнекерлеу ресімінен кейінгі білікшені тазалауға қатысты. Шын мәнінде, тот баспайтын болаттың дәнекерлеу жапсарларының коррозиялық төзімділігі олардың үстіңгі қабатының сапасына байланысты болуы мүмкін. Қалай болмасын, дәнекерлеу үдерісіндегі қорғаныс неғұрлым жақсырақ болса (екі жағынан да қорғаныс, барынша ұзын машықтану қалқандарын пайдалану), осындай тазалау соғұрлым жеңілдірек болады. Тот баспайтын болаттардың дәнекерленген қосындыларын тазалау жеке немесе бірге қолданылатын (EN 1011-3: 1997 стандартында сипатталғандай, жіктемелік индексі 89-101-3) түрлі тәсілдермен орындалуы мүмкін.

Тазалау үшін тот баспайтын болат сымдарынан немесе басқа үйлесімді материалдан жасалған арнайы қылшақты пайдалану ұсынылады. Әдетте осы әдім тым қатты жабысып қалған қоспаларды алып тастау үшін қолайлы емес. Айналатын қылшақтарды пайдалануға ерекше мән беру ұсынылады, себебі олар үстіңгі қабатты деформациялап, коррозиялық төзімділікті төмендетуге алып келетін микрокрезаны туындатуы мүмкін. Кейбір кездер, химиялық тазалаумен тазалуды жүргізу қажет болады.

Түйір ағынды және құм ағынды өңдеу өнімдері темірмен немесе қосындыланбаған болатпен кірленбеуі тиіс. Осы әдіс жабысып қалған қоспаларды алып тастау үшін және сондай-ақ, бөлшектердің үстіңгі қабатындағы сығымдаудың қалдық кернеуін құру үшін пайдаланылады. Түйір ағынды өңдеу үшін ұсынылған өнімдердің арасында шыны мен тот баспайтын болат бар.

Ажарлау үшін арнайы темір құрамайтын дискілерді, таспаларды немесе қайрақ тастарды пайдалану ұсынылады. Үстіңгі қабатты зақымдайтын және негізгі металды сұйылтатын шектен тыс ажарлаудан аулақ болу ұсынылады. Осы әдіс үстіңгі қабатта ластайтын көптеген заттарды алып тастау үшін де және дәнекерлеу мен негізгі металдың арасындағы жүйелеі түрдегі өту үшін де пайдаланылады. Майдалағаннан кейін химиялық тазалауды пайдалануға болады.

Жолақтарды тазалау үстіңгі қабаттың оксидін немесе үстіңгі қабаттарды химиялық реакцияның көмегімен алып тастайды. Құрамы болаттың түріне, температураға және тазалау ұзақтығына байланысты болатын қышқылдық орта пайдаланылады. Ресімнен кейін барлық тазартқыш құралдарын мұқият алып тастау қажет.

Жоғарыда көрсетілген дәнекерлеу жапсарын тазалау бойынша механикалық немесе химиялық ресімдер оксидтерді алып тастаумен тынбайды, олар сондай-ақ, тот баспайтын болаттың енжар қабатын да алып тастайды. Енжар қабатты қалпына келіруді жылдамдату үшін химиялық немесе механикалық өңдеуден соң енжарлатуды жүргізу ұсынылады.

Негізінен, электролитті жылтырату жылтыр үстіңгі қабатты алу мақсатында тұрақтандырылмаған болаттарға қолданылады және осылайша, оңтайлы коррозияға төзімділікті алу мақсатында қолданылады.

Оңтайлы коррозиялық төзімділікке қол жеткізу үшін ең тиімдісі химиялық тазалу мен электролитті жылтырату болып табылады.

Ең соңында, әңгіме таза өңдеу операциясы туралы болып жатқанынан қарамастан, әсіресе, тек тот баспайтын болаттарды өңдеуге ғана арналмаған шеберханаларда қатерсіздендіру үдерісін жүргізу ұсынылады. Осы үдерістегі енжарлауға ұқсас қатерсіздендірудің мақсаты бөлшектің үстіңгі қабатына қандай-да бір тыс заттардың ізі, әсіресе темір бөлшектерінің түсуін болдырмау болып табылады.

12.11 Глоссарий

Аустенитті тот баспайтын болат: барлық температуралық диапазондарда құрылымы аустенитті болып табылатын тот баспайтын болат. Аустенитті тот баспайтын болаттар темір-хром-никель типіне (молибден) жатады.

Аустенитті-ферритті тот баспайтын болат: бөлме температурасында құрылымы шамамен 50% аустениттен және 50% ферриттен тұратын тотбаспайтын болат. Аустенитті-ферритті тот баспайтын болаттарды сондай-ақ «дуплекс» деп те атайды.

Ферритті тот баспайтын болат: барлық температуралық диапазондарда құрылымы көп бөлігінде немесе барынша ферритті болатын тот баспайтын болат. Ферритті тот баспайтын болатар темір-хром (молибден) типіне жатады.

Мартенситті тот баспайтын болат: жоғары температурада аустенитті құрылымы бар тот баспайтын, суыту кезінде фазалық айналуларға бейім болат:

- аустенит: шыңдау үдерісіндегі мартенсит,
- аустенит: феррит + жәйлап суыту кезіндегі карбидтер.

Crq хромдық баламасы: альфа-геннің барлық элементері хром түріндегі коэффициенттердің көмегімен түрлендірілген есептелген мән

Майсыздандыру: чистка - тазалау дегеніміз металдың үстіңгі қабатында құрылатын оксидтерді алып тастауға мүмкіндік беретін болаттардың үстіңгі қабатын химиялық өңдеу.

Тазалау: тот баспайтын металл бөлшектерін, көбінде мтеледы таза өңдеу кезінде- суық айналу немесе аяқтау кезінде металдың үстіңгі қабатында тұнған темір бөлшектерді ерітетін химиялық үдеріс.

Сұйылту: дәнекерлеу ваннасының жалпы көлеміне қайтарылған дәнекерлеу кезінде қайта балқытылған негізгі металдың көлемі.

Альфа-геннің элементі: темірдің құрылуын және құрылымын тұрақтандырылуын қолдайтын элемент. Альфа-геннің негізгі элементері Cr, Mo, Si, Al, Ti, Nb, V болып табылады.

Гамма-геннің элементі: аустениттің құрылуын және аустенитті құрылымның тұрақтануын қолдайтын элемент. Гамма-геннің негізгі элементтері Ni, C, N, Cu болып табылады.

Никельді балама Ni_{eq} : гамма-геннің барлық элементтері коэффициенттердің көмегімен никель түріне аударылатын есептік мән.

Енжарлау: металдың үстіңгі қабатында шөгіп қалуы және енжар қабаттың құрылуын жылдамдатуы мүмкін ластайтын элементтерді алып тастауға мүмкіндік беретін металдың үстіңгі қабатын химиялық өңдеу.

Еуропалық стандарт жобасы (PREN): нүктелік коррозияға төзімділіктің баламалы көрсеткіші, ажырау кезіндегі коррозиялық төзімділіктің коэффициенті.

J-аустенитті құрылым: аустенит қырлы орталықтандырылған кубтық құрылымды береді, ол жұмсартылған қалпында келесі қасиеттерге ие:

- жұмсақ, бірақ жоғары деңгейде нығайтылатын, нығайтылатын

- өте созымды және өңделуге бейімделген,
- магнитті емес.

I-ферритті құрылым: феррит көлемді-орталықтандырылған кубтық құрылымды береді, ол жұмсартылған қалпында келесі қасиеттерге ие:

- жұмсақ, бірақ онша нығайтылмайтын,
- икемді және өңделуге жеткілікті бейімделген,
- магнитті.

D'-мартенситті құрылым: мартенсит көлемді-орталықтандырылған кубтық, деформацияланған және тым қаныққан кезде элементтердің болуымен нығайтылған құрылымды береді. Ол келсі қасиеттерге ие:

- қатты және морт,
- құйылмайтын және өңдеуге бейімделмеген,
- магнитті.

ТӘА: термиялық әсер аймағы.

БА: балқыту аймағы.

12.12 Қолданылған әдебиет тізімі

[CAS 68] CASTRO R., DE CADENET J.J., *Métallurgie du soudage des aciers inoxydables et résistant à chaud*, Dunod, Париж, 1968.

[COZ 98] COZAR R., MOIRON J.L., *Ecole Inox Ugine S.A.*, презентация 1998.

[MOI 96] MOIRON J.L., BONNEFOIS B., *Soudabilité des aciers inoxydables*, Institut de Soudure 1996.

[MOI 00] MOIRON J.L., BONNEFOIS D., CUNAT P.J., *Souder les aciers inoxydables*, OTUA 2000.

Тарау

Алюминий қорытпаларын дәнекерлеу

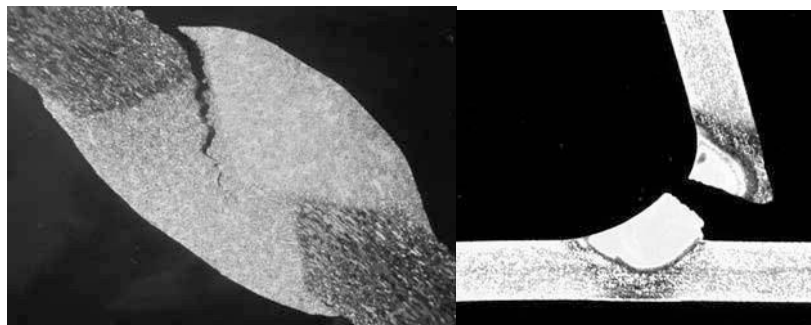
13.1 Дәнекерлеу металлургиясы

13.1.1 Алюминий қорытпаларының дәнекерленуі (болаттарды/алюминийді салыстыру)

Алюминий қорытпалардың дәнекерленуі көміртекті болаттарға қарағанда айналу фазаларының мәселесіне байланысты емес, көміртекті болаттар ертіліген сутегімен және механикалық шектеулермен дәнекерлеу жапсарының морттануына алып келуі мүмкін. Олардың дәнекерлену өлшемдері¹ аустенитті тот баспайтын болаттар секілді ыстық шытынауға (қатаю кезіндегі шытынау) бейімділікке байланысты болады. Дәнекерлеуге жататын металдардың үйлесімділігі және қоспалайтын металды таңдау да маңызды тұстар болып табылады, себебі олар жапсардың жеткіліксіз икемділігіне алып келуі мүмкін.

Мұнымен қоса, сутегі алюминий қорытпаларына көміртекті болаттарға әсер еткендей әсер етпейді (суық шытынау). Алюминий қорытпаларына келер болсақ, бұл сұйықтық пен қатты заттың арасындағы (660 °C температурасындағы балқыту кезінде 0,69 см³/100 г қарсы 0,036) ерігіштіктің үлкен айырмашылығына байланысты газ тәрізді кеуектіліктің құрылуына алып келеді. Осы газ дайындамаларды өндіру кезінде толығымен болдырылмайды, бірақ, ол кейде құймаларда болады және дәнекерлеу кезінде өндірілуі мүмкін (13.3.1-бөлімін қарңыз).

Дәнекерленетін қорытпалардың жіктемесі [FD 96] және олардың металлургиясы кәдуілгі доғалық дәнекерлеу үдерісіне жатады.



a)

b)

13.1-сурет а) ыстық шытынаулардың пайда болуы: 2024 қоспалайтын материал 5356 (TIG-дәнекерлеу);

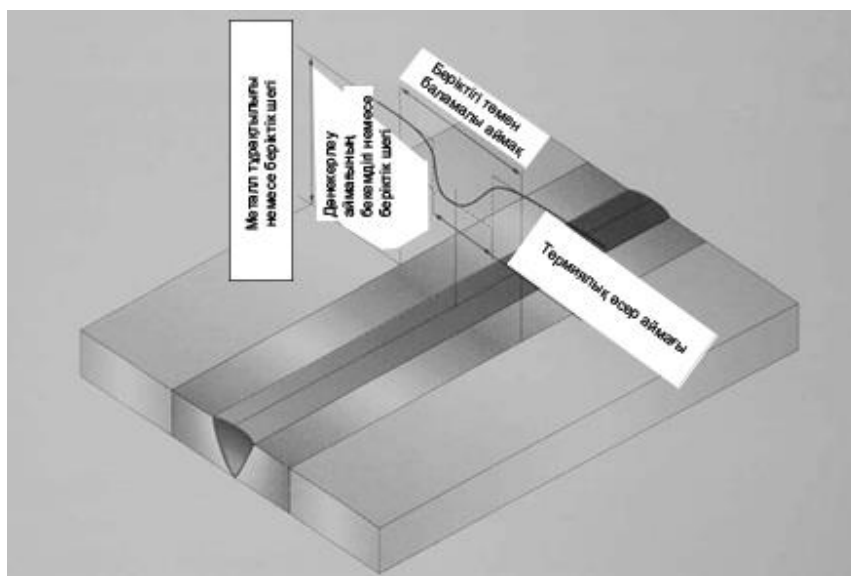
б) Балқыту аймағының морттануы: 5083 қоспалайтын материал 4043A (TIG-дәнекерлеу)

Қысыммен құйылған құрамдастар дәнекерлеуге келмейді, себебі оларды өндіру кезінде ерітілген газ дәнекерлеу кезінде алынып тасталады.

Дұрысында, есептеу нормалары мен стандарттар пайдалану өлшемдерін ұсынады және атап айтқанда, дәнекерлеуге бейім немесе доғалық дәнекерлеуге келмейтін қорытпалардың тізімін құрастырады, бұл олардың түрлі әдістермен бірдей жұмыс істейтінін білдірмейді (кедергі, электронды-сәулелік дәнекерлеу және т.б.)

Әдеттегідей, металлургиялық жағдай алюминий қорытпаларының дәнекерленуіне әсер етпейді. Осылайша, қорытпаны жұмыс қалпына (H1x және H2x) немесе термиялық қалпына қарамастан дәнекерлеуге болады. Шын мәнінде, алюминий қорытпаларының жағдайында материалды доғамен немесе балқытылған металмен қыздыру, қатаю үрдісі бар көміртекті болаттардан айырмашылығы, көптеген жағдайларда негізгі металдың жұмсаруына алып келеді (13.6-бөлім). Осы термиялық әсер аймағы (ТӘА) микроскопиялық немесе макроскопиялық бақылауда көрінбейді, оның деңгейі дәнекерлеу үрдісіне байланысты.

Металды тым қатты қыздырған кезде нығайтылған қорытпалар (1000, 3000, 5000 топтамалары) H-қалыптарында (деформацияланған және қалпына келтірілген) өзінің қасиеттерін жоғалтады, бұл О-қалыптарын (босандатылған) қоспағанда, термиялық әсер аймағының одан әрі тегістеуге жататын ішінара рекристалдануына алып келеді. Қосындының беріктігі бастапқы босандатылған немесе шыңдалған қалпына қарамастан, негізгі металдың босандатылған қалпындағы беріктікке тең болады (13.5.1-бөлімді қараңыз).



13.2-сурет ТӘА-ның механикалық қасиеттерінің өзгеруі

Әдетте шыңдалған немесе жасанды түрде көнеленген қалпында пайдаланылатын (T5, T6) немесе сирек жағдайларда шыңдалған және табиғи түрде көнеленген қалпында пайдаланылатын нығайтылған құрастырылымдық қорытпалар (6000, 40000 топтамалары) күрделі өңдеуге жатады. Қосындының беріктігі термиялық өңделген негізгі металдың осындай беріктігі мен шыңдалған табиғи түрде көнеленген металдың беріктігінің арасындағы аралық мәнге тең болады. Құйылған және термиялық өңделген 42100 (Al-Si7Mg03) секілді Al-Si-Mg қорытпалары T6 қалпында тура сол ережелерге бағынады. 7000 топтамасының T4 қалпында жеткізілетін дәнекерленетін қорытпалары, дәнекерлеген соң бірнеше аптаға созылатын жетілу кезеңінен кейін өздерінің бастапқы қасиеттерін қалпына келтіру нәтижесіне ие.

Дәнекерлеуден кейін механикалық қасиеттерді жоғалту термиялық өңдеуге ұшыраған қорытпалар үшін қайтымсыз, бірақ босандатылған аймақты ішінара термиялық өңдеу қорытпаларының көмегімен регенерациялауға болады.² егер толық термиялық өңдеу (ертіндіде қатаю, шыңдау және жұмсарту), кейбір кездері термиялық өңдеуден кейінгі жұмсарту үлкен деформацияланатын құрастырылымдарда мүмкін емес. 6000, 7000 топтамаларының қорытпаларын және 40000 топтамасының құймаларын шыңдау мен жұмсартудың арасында дәнекерлеу тәжірибесі өте қызық. Дәнекерлеуден кейінгі үдеріс жағдайында қатаюға жататын қоспалайтын материалды пайдалану үшін қауіпсіздікті сақтау қажет (13.2.2-бөлімі).

Көптеген жағдайда дәнекерлеуді мүмкін етпейтін құрастырылым көлеміне

байланысты экономикалық мәселе.

Көміртекті болаттардан айырмашылығы (бірақ, кейбір тот баспайтын болаттардағы секілді) барлық алюминий қоспалар, алайда, әсіресе 6000 және 7000 топтамаларының қорытпалары дәнекерлеу энергиясына сезімтал. Түйіраралық фазалардың қатты балқып кетуін барынша кеміту үшін (шамадан тыс күйдіру құбылысы) оны мүмкін болғанынша азайту қажет. Ликвация деп аталатын және қоспаланатын кернеулермен байланысты осы құбылыс термиялық әсер ету аймағында микроскопиялық шытынаулардың пайда болуына алып келуі мүмкін. Бақыланатын энергиямен дәнекерлеу, кем дегенде 1000, 3000 және 5000 топтамаларының қорытпаларын қайтакристалдауды азайтады. Доғаның шамадан тыс бикітігі осы ақаулардың туындауына себепкер болады және дәнекерлеу жапсарының механикалық қасиеттерін нашарлатады.

Дәнекерлеудің температурасына (өтулер арасындағы температура, алдын-ала қыздыру) келер болсақ, термиялық өңделетін қорытпалар үшін 80 °C-тан аспауы тиіс және деформациялайтын қорытпалар үшін 120°C-тан аспауы тиіс. Қыздыруды пайдаланатын механикалық кернеулерді шешу үдерісі, алюминий қорытпаларымен сирек пайдаланылады, себебі көптеген қорытпалардың жұмсаруына сәйкес келетін температура мен уақытқа қол жеткізу қажет (12 сағат бойы 250°C). Жекелеген жағдайларда, 100-ден 200°C-қа дейінгі диапазонындағы температуралар пайдалану кезіндегі олардың қасиеттеріне әсер етеді (6000 және 7000 топтамаларының механикалық қасиеттері, 5000 және т.б. коррозиялық қасиеттері).

13.1.2 Дәнекерлеу металдары

Қорытпалардың көпшілігін қоспалайтын материалсыз дәнекерлеуге мүмкін болғанымен, шын мәнінде, шөгуді, жықпаларды және тесіктерді толтыруға мүмкіндік беретін және ыстық шытынауларды болдырмау үшін үнемі жеткілікті дәнекерлік қиманың болуы талап етіледі.

Мұнымен қоса, қоспалау сымы MIG-дәнекерлеудің ажырамас бөлігі болып табылады.

Әдеттегідей, барлық алюминий қорытпаларды дәнекерлеу Al-Si және әсіресе, 4043A қоспалайтын материалдың көмегімен мүмкін болады. Шын мәнінде, ыстық шытынауға сезімталдық кремнийдің 0,5 –тен 1%-на дейінгі диапазонында болатындықтан, тәуекелдер әдетте дәнекерлеу кезінде алынатын сұйылту³ коэффициенттерінің есебінен жойылады.

Осы артықшылық білікшедегі кернеуді шектейтін және деформацияны азайтатын катаю кезіндегі төмен шөгуге үйлеседі. Алайда, егер ол «әмбебап» қорытпаның қызметін атқаратын болса, онда ол келесі жағдайларда ең жақсы таңдау болады:

¹ Сұйылту коэффициенті балқыту аймағының (БА) жалпы көлеміне жағылған қоспалайтын материалдың көлемі ретінде анықталады.

- коррозиялық төзімділік немесе оңтайлы электр өткізгіштік талап етілетін және сәйкесінше ұқсас сапасымен қоспалайтын материал талап етілетін 1000 топтамасының қорытпалары үшін (тазалықтың кемуі тәртібінде: 1080A, 1050A, 1100);
- тек магний қорытпалары пайдаланылатын 2%-дан астам магнийдің 5000 топтамаларының қорытпаларын дәнекерлеу үшін (өсу тәртібінде % Mg 5154, 5554, 5754, 5654, 5087, 5183, 5356, 5056, 5556A);
- жақсы статикалық беріктік, әсіресе осал тұс термиялық әрекет аймағы емес, балқыту аймағы болып табылатын кезде талап етілетін, 6000 және 7000 қорытпаларды пайдаланған кезде (13.5.1-бөлімді қараңыз), 5356 немесе 5183 пайдалану артықшылықты болып табылады;
- біркелкі тұс қажет болған жағдайда анодтаудан кейін білікше мен негізгі металдың ортасында мүмкіндігінше композитті қоспалайтын материал пайдаланылады (1000, 3000, 5000).

Соңында, сертификатталған ұйымдарға кейбір сымдарды нақты қолдану бойынша

талаптар қойылады (мысалы, 5183 топтамалары 5083 теңіз пластиналы қорытпаларын дәнекерлеу үшін).

4043A топтамасының қорытпалары, тіпті кремнийдің анағұрлым жоғары құрамы бар қорытпалар (4045, 4047A) дәнекерлеу үшін және құйманың пісіріндісі үшін негізгі қоспалайтын материалдар болып табылады.

Қоспалайтын материалдардың⁴ басқа сұрыптары өте спецификалық дәнекерлеу кезінде пайдаланылады:

- 3000 қорытпаларын анодтау кезінде біркелкі түс үшін 3103;
- 2319 топтамасы 2000 топтамасының дәнекерленетін қорытпалары үшін, атап айтқанда 2219 топтамасы;
- 4009 және 4145 топтамалары 2000 топтамасының дәнекерлеу үшін және 45xxx және 46xxx топтамаларының қайтара құймаларын дәнекерлеу үшін;
- 7000 топтамасының дәнекерленетін қорытпаларымен 5180 топтамалары, атап айтқанда, 7020 топтамасының қалыңдығы айтарлықтай қорытпалары үшін және/немесе кейінгі өңдеу жүргізілгенде;
- 4010 және 4643 топтамалары 6000 топтамасымен және 42xxx және 43xxx топтарын құю үшін, механикалық қасиеттерді арттыру мақсатында кейінгі термиялық өңдеу жағдайында.

TIG- және MIG-дәнекерлеу үшін қорытпалардың түрлі қосындыларында ұсынылған қоспалайтын металл 13.1-кестеде келтірілген [EN 99 стандарты]. Әрбір негізгі материалдарға сәйкес келетін сызықтар мен бағандар қиылысқан жердегі өрісте ең жақсы қоспалайтын материал көрсетілген. ол үш санатқа сәйкес таңдалады:

3 Магнийден қосындыланатын материал екі санатқа бөлінеді: магнийдің 3,5%-дан астам құрамы бар қорытпалар және магнийдің құрамы 3,5%-дан төмен болатын қорытпалар.

13.1-кесте Қорытпалардың үйлесімділігі және қоспалайтын материалдарды таңдау

Негізгі металл А		
Al	4	
	1	
	4	
AlMn	4	3
	немесе	немесе
	5	4
	1	3
	4	4

(Кестенің жалғасы)

Негізгі металл А									
AlMg	4	4	4						
Mg<1.5%	немесе	4	4						

	5	4	4									
	1											
	4											
AlMg 1.5%<Mg<3.5%	4											
	неમેસે	5										
	5	5	5	5								
	5	неમેસે	5	5								
	4	3	4	5								
	неમેસે	4										
	5											
AlMg Mg>3.5%	5	5	5	5	5							
	5	5	5	5	5							
	5	5	5	5	5							
AlMgSi	4	4	4									
	неમેસે	неમેસે	неમેસે	5	5	5						
	5	5	5	5	5	4						
	5	5	5	4	4							
	4	4	4									
	неમેસે	неમેસે	неમેસે									
	4	4	4									
AlZnMg	5	5	5	5	5	5	5	5				
	5	5	5	5	5	5	5	5				
	5	5	5	5	5	5	5	5				
AlSiCu Cu<1%	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
AlSiMg	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
AlSiCu 5) 6)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		

AlCu³⁾	NR	NR	NR	NR	NR	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	2 2 4
Негізгі Металл В	Al	Al Mn	AlMg Mg” 1.5%	AlMg 1.5”Mg ”3.5%	AlMg Mg >3.5%	Al MgSi	AlZn Mg	AlSi Cu Cu ” 1%	AlSi Mg ⁵⁾	AlSi Cu ⁵⁾ 6)	AlCu 3)
CR TR 15608	21	22.1	22.2	22.3	22.4	23.1	23.2	24.1	24.2	25	26
EN573- 3 & EN 1706	1000	3000	5000	5000 or 51000	5000 or 51000	6000	7000 or 7000 0	44000 or 47000	42000 or 43000 or 44000	45000 or 46000 or 48000	2000 or 20000

Ескерту: Шамамен 2% -дан астам Mg құрайтын негізгі металл 4000 қоспалайтын материалмен (немесе, 2%-дан астам кремнийді құрайтын негізгі материал 5000 қоспалайтын материалмен дәнекерленгенде) дәнекерленгенде, мұнда оны жұмсарту үшін балқыту аймағында Mg2S жеткілікті көлемі құрылуы мүмкін. Осы қосындылар соққыға немесе қажулық кернеуге арналған құрастырылымдар үшін ұсынылмайды.

1) Олар автогенмен дәнекерленген кезде (қоспалайтын материалсыз немесе негізгі металдың құрамы секілді қоспалайтын материалдың құрамымен) осы қорытпалар ыстық шытынауға сезімтал болып келеді. Осы мәселені дәнекерлеу ваннасындағы магнийдің құрамын 3%-ға дейін арттырып, немесе компрессиялық бекітудің көмегімен болдырмауға болады.

2) Пайдаланудың белгілі бір жағдайларында (> 65 ° C температура кезінде немесе жемірлік ортада пайдалану) 3%-дан астам магний құрайтын қорытпалар кристаллитаралық коррозияға және/немесе кернеуге ұшырауы мүмкін. Сезінушілік Mg пайыздық құрамымен және/немесе шыңдаумен артуы мүмкін. Балқыту аймағындағы қоспалайтын материалды сұйылту осыны ескеруі тиіс.

3) Осы қорытпаларды қоспасыз дәнекерлемеген жөн, себебі, олар ыстық шытынауға бейім.

4) Магнийдің құрамы шамамен 3%-дан асқан кезде, кристаллитаралық коррозия және/немесе 5000 топтамасының деформацияланатын қорытпаларының қысымының коррозиясы туындауы мүмкін. Осындай ортада пайдалану жағдайында балқыту аймағындағы Mg құрамы негізгі металдың құрамынан аспауы тиіс. Негізгі металдың құрамына ұқсас қоспалайтын материалдың құрамы пайдаланылуы тиіс.

5) Қоспалайтын материалдың кремнийлік құрамы негізгі материалдың құрамына барынша жақын болуы тиіс.

6) Осы қорытпалар қысыммен құйылған кезде, олар метал құрайтын газға бола дәнекерлеуге келмейді.

- балқыту аймағының барынша көп механикалық қасиеттері (жоғарғы сызық);
- Коррозиялық төзімділік (орташа сызық). Коррозияға келер болсақ, дәнекерленетін материалға жақындау келетін қоспалайтын сымды пайдаланып, анодтаудан кейінгі түстің ең жақсы біртектілігіне қол жеткізеді. 6000 топтамасының қорытпаларын дәнекерлеген кезде, бозғылт сұр түс беретін 4xxx топтамасының қоспалайтын материалдарын пайдаланбаған жөн;
- Эксплуатациялық дәнекерлену (төменгі шекара), оның ішінде ыстық шытынау және дымқылдану. Осы қасиет қажулық төзімділік үшін қолайлы білікшенің пішінін туындатады.

Металды таңдау көбіне осы пайымдаулардың арасындағы мәміле болып табылады. Әдетте, үйлесімді қоспалайтын материалмен дәнекерлеу коррозиялық белсенділік мәселесін тудырмайды⁵.

Дегенмен де, 7000 дәнекерленетін қорытпалардың деформациялану жағдайын атап өткен жөн, себебі олар Т4 шыңдалған табиғи қатаю жағдайында нашар коррозиялық төзімділікке ие (қабыршықтанатын коррозия). Осы себептен, осы қорытпалардың термиялық әсер аймағы (Т6 және Т4 қалпында) қорғалуы тиіс. Одан әрі жұмсарту мәселені айтарлықтай жақсартады.

13.2 Дәнекерелу тәсілдері

13.2.1 Кіріспе

Алюминий қорытпаларын дәнекерлеудің тәсілдері көп, олардың көбісі қайсыбір деңгейде басқа металдармен, әсіресе болатпен байланысты (түйіндес дәнеерлеу, доғалық дәнекерлеу және т.б.). алайда, олардың физикалық, физикалық-химиялық және механикалық қасиеттері қолданыстағы үдерістердің оңтайландырылуын анықтады, сонымен қатар, дәнекерлеудің жаңа әдістерін жасауға мүмкіндік берді. Осылайша, аса тұрақты оксидтің болуы, жоғары электрлік және салыстырмалы жылу өткізгіштік жабындалған өзекшелермен дәнекерлеуді болғызбай тастады; қыздыру кезіндегі осал қасиеттер дәнекерлеудегі үйкелістің артуына алып келді (13.2.5-бөлімін қараңыз).

Біз осы жерде қағидаларға жіті тоқталмастан, бірақ алюминий қорытпалардың бейімділігі мен сипаттамаларын көрсете отырып, ең заманауи әдістерді келтіреміз. Әдісті таңдау бөлшектердің пішіні, дәнекерленетін бұйымдардың қалыңдығы, талап етілетін өнімділік, дәнекерлеу жаспарының сапа деңгейі, автоматтандыру деңгейі және т.б. секілді көптеген өлшемдерге байланысты. Салыстырудың үнемі мүмкін бола бермейтіндігін ескере отырып, бұл ақпараттық анықтама үшін жеткілікті.

13.2.2 Доғалық дәнеерлеу тәсілі (TIG және MIG)

Доғалық дәнекерлеудің екі тәсілі TIG-дәнекерлеу (*вольфрамды инертті газбен*) және MIG-дәнекерлеу (*металл инертті газбен*), дәнекерленетін алюминий қорытпалармен пайдаланылады. Оларда дәнекерленетін бөлшек пен отқа төзімді болуы мүмкін (TIG-дәнекерлеу) немесе қоспалайтын материалдың көмегімен құрылған (MIG-дәнекерелу) электродтың арасына өткен кезде инертті газды (аргон, гелий және олардың қоспалары) иондау арқылы алынған жылуды беруге арналған плазма пайдаланылады. Газ, сондай-ақ, балқытылған металды қышқылданудан қорғау үшін де пайдаланылады.

Теориялық тұрғыдан, аргон жақсы қорғанысты (ауаға қарағанда анағұрлым жоғары тығыздық) қамтамасыз ететін болғандықтан пайдаланылады, дегенмен плазмалық доға оңай генерацияланады (иондаудың анағұрлым төмен энергиясы) және арзанырақ. Гелий әдетте, MIG-дәнекерлеу кезінде және үздіксіз импульсті TIG-дәнекерлеу кезінде көбірек балқытылуды алу үшін пайдаланылады (жақсы жылу бергіштік). Қоспаны пайдалану да пайдалы болуы мүмкін, бірақ, кем дегенде, 50%-ға тең емес үлеспен.

Үдерісті таңдау өлшемдері, негізінен өнімділікке (автоматтандыру, дәнекерлеу жылдамдығы), жиналатын бұйымдардың қалыңдығына және дәнекерлеудің талап етілетін сапасына негізделген.

MIG-дәнекерлеу қоспалайтын металдың берілуін қоса алғанда, тек бір жанарғыны қамтиды, соның нәтижесінде ол оңай автоматтандырылады және оның үстіне *роботтандыруға* қабілетті. TIG-дәнекерлеу үдерісі, екінші жағынан көбіне қолмен жасалатын үдеріс болып қалады, себебі дәнекерлеу ваннасына автоматты түрде сымның берілуі өз алдына басқарылуы тиіс, ол әсіресе бас кезінде өте шетін операция болып табылады. Сәйкесінше, осындай үдеріс қоспалайтын материалмен оңай роботтандырыла алмайды. Қол режимінде TIG-дәнекерлеу үдерісіндегі араласу деңгейі толық болып табылады, ал MIG-

дәнекерлеуде барлық реттеулер сынақ үлгілерінде орындалуы тиіс.

Айта кетерлік жәйт, MIG-дәнекерлеу TIG-дәнекерлеу кезіндегіге қарағанда жоғарылау энергиясы бар үдеріс, ол жергілікті қыздыруды қамтиды, сондықтан дәнекерлеу кезіндегі болатын деформациялар азырақ. Осы екі әдіс іс жүзінде бірдей механикалық сипаттамалары бар дәнекерлеу жапсарын алуға мүмкіндік береді. Дегенмен, құрастырылымдық нығайтатын қорытпаларда MIG жалпы қатты болып келетін дәнекерлеу жапсарын өндіреді (13.5-суретті қараңыз). Оны пайдалану тұрғысынан, ол білікшелерге ең жақсы қасиеттерді береді. MIG-дәнекерлеу кезінде бұл сапа (балқытып алу, білікше пішіні және т.б.) көбіне дәнекерленетін бұйымдардың жиектерінің дайындығына байланысты болады.

Дәнекерлеу үнемі жанарғыны дәнекерлеу аймағына «итермелеу» жолымен орындалады; ол ең жақсы газдық қорғанысты қамтамасыз ету үшін бөлшектің үстіңгі қабатында шамамен 80 ° -қа жылжу бағытында көлбеуленген.

Дәнекерлеу барынша жазықтық және жартылай көтерілген қалыпта болады, алайда бұғаттарды дәнекерлеу мен төбелік дәнекерлеу қандай да бір мәселе тудырмайды. Екінші жағынан, балқытылған металы бар ваннаны дәнекерлеп алмау үшін төмен түсетін дәнекерлеу қалпынан аулақ болған жөн (өтудің орын алмауының көп себебі).

MIG-дәнекерлеудің көмегімен балқытып алу тәуекелін жою және толығымен өтуді қамтамасыз ету үшін тірек планкадағы аралық дәнекерлеу табанды түрде ұсынылады. Планкалар дайындамалар мен пішіндерді әзірлеу кезеңінде жақсы нәтижемен кіріктіріле алады (13.21-суретті қараңыз). Тот баспайтын болаттан ерекшелігі, кері бағыттағы қорғаныс талап етілмейді.

Жерге тұйықтау қысқышының жақсы электрлі түйіндесуін қамтамасыз етуді қарастырған жөн; оны орындау қабілетінің болмауы көбіне дәнекерлеудің нашар басталуының немесе бөлшектің үстіңгі қабатында глиноземнің болуынан доғаның тұрақтылығы нашарлауының себебіне айналады (13.3.1-бөлімін қараңыз).

13.2.2.1 TIG-дәнекерлеу кезіндегі айнымалы тоқ

Электрлі доға вольрамды баяу балқытын электрод пен дәнекерленетін бөлшектің арасында құрылады. Тот баспайтын болаттардан өзгешелігі айнымалы тоқтың пайдаланылатындығында. Теріс фаза кезінде алюминийдің үстіңгі қабатында болатын алюминийдің оксид қабатының шайылуы және электродтағы оң фазаның кезінде өту орын алады. Осы себептен, электродтың ұшы жұмырланған. Электродтың диаметрі дәнекерлеу тоғына тікелей байланысты: дәнекерлеуге келетін қалыңдығы 35-тен 50-ге дейінгі А/ммм. Әдеттегідей, осы қалыңдыққа тең келетін диаметр талап етіледі.

Енді, көздер шабылған түрге ие және полярлікті электродтағы жағымды жаққа қарай жылжыта отырып, тазалау нәтижесін азайтуға мүмкіндік береді. Қоспалайтын материал балқытылған металдың дәнекерлеу ваннасына өзекше (қолмен дәнекерлеу) немесе сым (автоматты дәнекерлеу) түрінде енгізіледі. Дәнекерлеудің энергиясы қоспалайтын материалға байланысты болмағандықтан, үдерістің икемділігі соншалықты, дәнекерлеуді айтарлықтай саңылаулармен қолмен орындауға мүмкіндік береді (бұйымдарға арналған 3 мм-ден бірнеше есе көп) және жөндеуге жақсы бейімделген.

Әдеттегідей, бұл жекелеген бөлшектердің өндірісіне арналған және асқан ептілікті қажет ететін қолмен жасалатын үдеріс. Ол жоғары сапа талап етілетін жағдайлардың барлығында пайдаланылады, атап айтқанда су өтпейтін дәнекерлеу жапсарларын орындау үшін пайдаланылады. Дәнекерлеудің жылдамдығын энергияны және қоспалайтын материалдың көлемін дәнекерлеу ваннасын бақылай отырып, оператор бақылай алады.

Дәнекерленетін бұйымдардың қалыңдығы мм-дің оннан бірін құрайды, ал іс жүзінде 5 немесе 6 мм-мен шектеледі. Мұнымен қоса, тым қыздырып жіберуден болатын бұрмалану айтарлықтай болған кезде, металды балқыту қиындығы бар. Қалың материалдар үшін тұрақты

тоғы (немеес импульсті) бар үдеріс пайдаланылады, алайда көбіне таңдау MIG үдерісіне түседі.

13.2.2.2 TIG-дәнекерлеудің тұрақты немеес импульстік тоғы

TIG-дәнекерлеу үдерісі сондай-ақ, үздіксіз немеес импульстік тұрақты токпен пайдаланылады. Үдерісте гелий тек қорғаныс газы ретінде пайдаланылады, бірақ доғаның белсендірілуі оңайырақ иондалатын аргонның көмегімен жүзеге асырылады. Тоқ тұрақты болып табылады, яғни катодтан (электродтың) бөлшекке электронды тасымалдаумен жүзеге асады. Осы жағдайда, оксидті жабынға тазалағыш фаза жағылмайды (электродтың эрозиясы да орын алмайды). Екінші жағынан, тоқ оңай реттеледі, ол қалыңдығы 0,01-ден 10 мм-ге дейін болатын бұйымдарды дәнекерлеуге мүмкіндік береді. Отқа төзімді электрод ажарлау бұрышын демеу үшін⁶ вольфрам құрайтын оксидтің бөлшектерінен әзірленген (әдетте, 2% ThO₂, бірақ сондай-ақ, 2% CeO₂ немесе 5% (ZrO₂). Бөлшектің қалыңдығына сәйкес 15 °-тан 120 ° -қа дейінгі бұрышта электрондардың эмиссиясын бағыттау үшін қайралады. Доғаның биіктігі аз болғандықтан (миллиметрдің оннан біріндей), осы үдеріс тек автоматты дәнекерлеу үшін ғана пайдаланылады. Дегенмен, оның қалыңдығы үлкен бөлшектерді өңдеу үшін пайдаланылатынын айта кеткен жөн (құймалар, пластмасса өндірісіне арналған баспақалыптар және т.б.).

Баламалы үдерісте жылу бергішті бақылаудың артықшылығын беретін, осылайша өту тереңдігі мен білікшенің енін жақсы бақылауды қамтамасыз ететін импульстік тоқ пайдаланылады (жиілігі бірнеше Гц). Осы импульстік режим, құрылымды тазартатын және сегрегацияны азайтатын қабаттық қатаюды туындататын ыстық фазаларға және суық фазаларға алып келеді.

13.2.2.3 Металға инертті газ

MIG дегеніміз MAG-тан (металлдық белсенді газ) алынған және шығындалатын электрод ретінде қоспалайтын сымды (қалың өнімдер үшін, әдетте 1, 2, сондай-ақ, 2,5 мм) және плазма құрылуы үшін бейтарап газды (кәдуілгі аргон) пайдаланатын болаттарға қолданымды үдеріс болып табылады. Соңғысы, сымды беру жылдамдығына және дәнекерлеу кернеуіне байланысты доғаның биіктігін бақылау арқылы расталады. Жанарғыдағы электрлі түйісу мыс түйісу тұт кшесі арқылы қамтамасыз етіледі. Қоспалайтын сымның төмен қаттылығы ПТФЭ-нен қабықшасы арқылы жанарғыға сымды итермелейтін және осылайша тарқатуды (болат қабықшамен сыналану тәуекелі бар) жеңілдететін тиісті жетекті аунақшалары бар ораманы пайдалану қажеттігін шарттайды. Жанарғы сымды беру жылдамдығын және доғаның биіктігін жақсырақ реттеуге, сонымен қатар, іске қосқан кезде сымның майысуын болдырмауға мүмкіндік беретін тарту жүйесімен (екі түйіспелі жүйе) жабдықталған. Оны роботталған ортада пайдалану қажет.

Торий осал радиобелсенді элемент болып табылады, сондықтан электродтарды қайрау және сақтау кезінде қауіпсіздік шараларын сақтау маңызды.

Дәнекерлеу энергиясы қолданылатын сымның санына пропорционалды болатындықтан, үдеріс TIG-дәнекерлеуіне қарағанда анағұрлым азырақ бейімделгіш. Білікшені оңтайландыру үшін дәнекерлеу қондырғысы үш өлшемді реттей алады:

- дәнекерлеу тоғына (және, жанама түрде дәнекерленетін бұйымдардың қалыңдығына) пропорционалды сымды беру жылдамдығы,
- дәнекерлеудің жылдамдығы,
- дәнекерлеу кезіндегі кернеуге пропорционалды доғаның биіктігі.

Алюминий қорытпаларға келер болсақ, металды тұндырудың бүрку режимі (*бүріккіш доға*) доғаның жоғары кернеуімен сүйемелденеді (болатпен пайдаланылатын қысқа тұйықталу немесе шарлы тасымал режимдері жарамайды). Осы мәселе көп уақыт бойы

дәнекерлеуге арналған 3-4 мм-ге дейінгі минималды қалыңдықтарды шектеп келді. Энергияның бәсеңдеуіне доғаның режимін (импульстік тоқтың) өзгерту арқылы қол жеткізу мүмкін, ол жүйелі түрде металл тамшыларының бөлінуін туындатады. Кернеуді және орташа тоқты бәсеңдету 1,2-ден 1,5 мм дейінгі қалыңдықты дәнекерлеуге мүмкіндік береді.

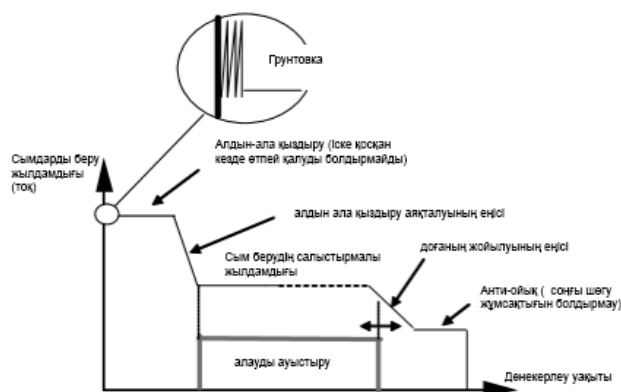
Синергетикалық дәнекерлеу жабдығы деп аталатын белгілі бір жабдық әрбір сымдардың/газдың әрбір амалы үшін (диаметр, сапа) көптеген өлшемдердің (жоғары және төмен тоқтар және кернеулер, жиілік және т.б.) алдын-ала бапталуын бііктіреді. Осы сым жылдамдығының функциясы болып табылатын синергетикалық қисық сызықтар баптау кезіндегі уақытты үнемдейді. Қолданыстағы бұрынғы дәнекерлеу бағдарламалары жадыда сақталып қалып, өндірістік үдерісті жеңілдетеді (роботтандырылған өндіріске арналған бағдарламалардың қайтарып алу режимінде жұмыс істеу мүмкіндігі бар).

Практикалық тұрғыдан алғанда, бұрынғыша доғаның кернеуін⁷ реттеу қажет болады, атап айтқанда, өтумен, кеуектілікпен немесе бүйірлік қабырғаларын балқытудың болмауымен мәселе туындауы мүмкін.

Осындай электронды басқарылатын жабдықта, алдын-ала қыздыруға және осылайша білікшенің бас жағына өтудің болмауын (балқытудың жеткіліксіздігі) жоятын, сондай-ақ доға өшкен кездегі соңғы ойықтың пайда болдыртпайтын дәнекерлеу қайталымын⁸ бағдарламалау да пайдаланылады (13.3-суретті қараңыз). Айта кетерлік жәйт, жанарғының ауыстырылуы алдын-ала қыздыру көлбеуінің соңында жүзеге асырылады. Белгілі бір дәнекерлеу жабдығында да инициациялаулы оңтайландыратын және осылайша, доғасыз іске қосқан кезде сымның шатасуын болдырмайтын тоқтың қатты импульсы (700 А) бар. Осылайша, үдеріс шағын білікшелердің (<50 мм) өндірісі үшін және роботтандырылған өндірісі үшін өте қолайлы.

Кейбір өндірісушілер, сондай-ақ, басқа өлшемдер үшін модификациялауды ұсынады.

Осы қайталым әрбір бағдарлама үшін реттелуі тиіс, себебі ол дәнекерлеу жапсарының ортасына байланысты.



13.3-сурет MIG-дәнекерлеудің синергетикалық қайталымы

Тұндырылған металды ұлғайтып қана қоймай, сондай-ақ, әсіресе дәнекерлеу жылдамдығын (бірнеше мин/сек дейін) айтарлықтай ұлғайтатын қосарланған сым техникасының дамуын айта кеткен жөн.

Кейбір өндірісушілер, сонымен қатар, қуаттылық пен балқытылған металдың арасындағы қатынастарды оңтайландыратын роботтандырылған дәнекерлеуге арналған жабдықты ұсынады. Жұқа материалдарды дәнекерлеу (1,5 мм аз) бөлшектердің түйісуіне немесе саңылаудың құрылыуына, түрлі қалыңдықтарға және т.б. азырақ сезімтал.

13.2-кесте MIG-дәнекерлеу кезіндегі білікшенің сапасына байланысты мәселелерді қысқаша сипаттау

Мәселе	Себеп	Қорғаныс құралдары
Жеткіліксіз өту	Дәнекерлеудің жеткіліксіз энергиясы	Сымды беру жылдамдығын ұлғайту. >6 мм өнімдердегі жиектерді өзірлеу. Аргоннан өзгеше газды пайдаланыңыз ⁹
	Шамадан тыс өту	Қалың өнімдердің шұйдесін кішірейту үшін қиықжиекті ашу
	Шырақтың жылжуы тым баяу	Дәнекерлеу жылдамдығын азайту ¹⁰
	Доғаның шамадан тыс биіктігі	Дәнекерлеу кернеуін азайту
Шамадан тыс өтуе	Нормадан тыс энергия	Сыммен беру жылдамдығын азайту
	Сәйкессіз өзірлеу	Қалың өнімдердегі қималарды оңтайландыру
Білікшенің шамадан тыс дөңестігі	Сымның шамадан тыс көлемі	Егер өту дұрыс болса, өнімдердің қималарын оңтайландырыңыз және сәйкесінше сымды беру жылдамдығын бейімдеңіз
	Шырақтың ауысуы тым баяу	Дәнекерлеу жылдамдығын ұлғайту
	Доғаның шамадан тыс биіктігі	Доғаның кернеуін азайту
Білікше тым кең	Жанарғының ауысуы тым баяу	Дәнекерлеу жылдамдығын ұлғайту
	Доғаның шамадан тыс биіктігі	Доғаның кернеуін азайту
Жұқа бөлінген кеуектілік	Доғаның шамадан тыс биіктігі	Доғаның кернеуін азайту

Қалық табақтарды дәнекерлеу кезінде (8 мм), балқытып алу таза гелийдің орнына гелийді немесе He/Ar (70/30) пайдаланған кезде жақсарады.

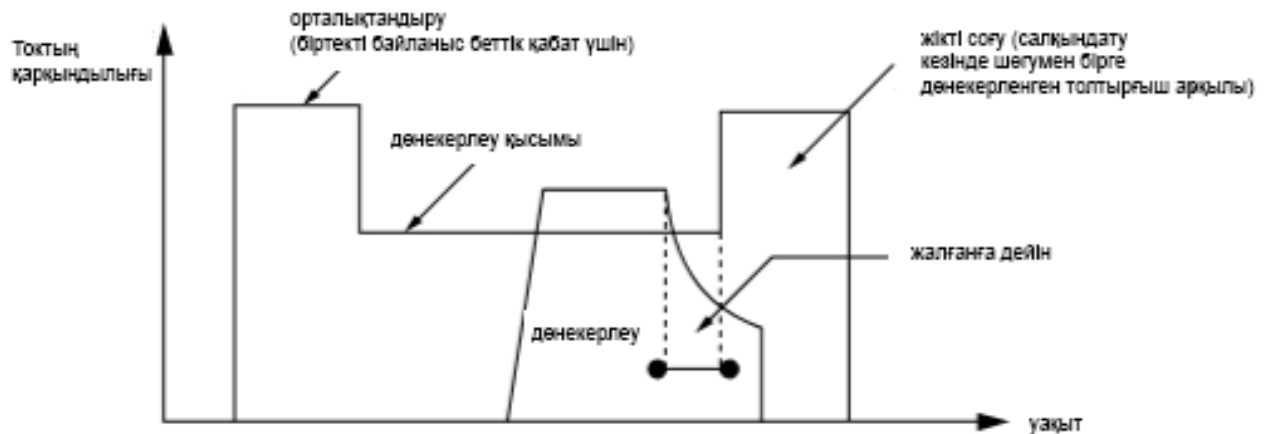
Сымның дәнекерлеу ваннасына тігінен түспейтініне көз жеткізіңіз, мұндай жағдайда дәнекерлеу жылдамдығын ұлғайту қажет (ешқашан «дәнекерлеу ваннасында» дәнекерлемеңіз).

13.2.3 Кедергімен байланыс дәнекерлеу

Бұл әдіс болат үшін қолданылады, бірақ жабдық алюминий қорытпаларының жоғары электр және жылу өткізгіштігіне, қаттылығының төмендігі мен ыстық жарылуға қатысты сезімталдығына байланысты айтарлықтай бейімделеді.

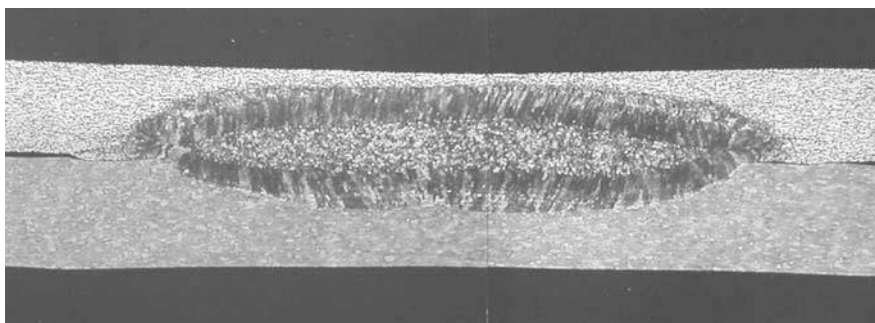
Төменде түбегейлі айырмашылықтар келтірілген:

- қуатты машиналарды пайдалану, соның ішінде, қалыңдығы > 3 мм түзетілген аралық жиіліктегі үш фазалық токтарды пайдалану;
- электрод арқылы Герц қысымын шектеу үшін үлкен радиустағы көбінесе 100 мм электродтарды пайдалану;
- дөңес жерлерді жою және ішкі ақауларды (сызаттар мен кеуектілік) азайту үшін бейімделген дәнекерлеу циклін (ток/қысым) пайдалану).



Сурет 13.4. Байланыс дәнекерлеу циклі

Алюминий қорытпаларының жылулық қасиеттері (13.3-кестені, 13.4.1-бөлімді қараңыз) дәнекерлеудің өте қысқа уақытын қажет етеді. Бұл мақсатта жоғары ток күшін пайдалану қажет. Осылайша, жоғары төзімді тотықты қабықша елеулі деформациялармен өшірілуі тиіс. Жоғары байланыс кедергісі бөлім шекарасында балқытылған аймақты (дәнекерлеу нүктесінің өзегін) қалыптастыру үшін қолайлы екенін атап өткен жөн, бұл қалың бұйымдардағы жұқа бұйымдарды дәнекерлеуді жеңілдетеді.



Сурет 13.5. 5182-О 1 мм және 6016-T4 1.2 мм қалыңдықтағы дәнекерлеу (автокөліктерге қолдану)11

2000 және 7000 (2024, 7075 және т.б.) топтамасына жататын қорытпалардың көпшілігі осы үдерісті пайдалану арқылы дәнекерленеді, өйткені қысу сипаты ыстық жарылудың қаупін болдырмайды.

Үздіксіз тігісті дәнекерлеу үлкен деформацияны тудыратындықтан, алюминий қорытпалары үшін қолайлы емес, ал байланыс дәнекерлеу кедергісі өте қуатты қажетті токқа байланысты қолданылмайтындықтан, түйіспелі дәнекерлеу балқымасы қолайлы болып табылады.

13.2.4 Балқыту арқылы түйіспелі дәнекерлеу

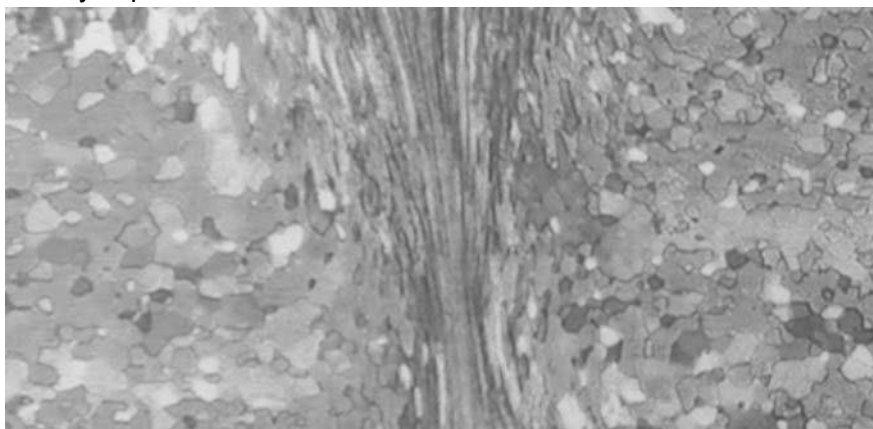
Балқыту арқылы түйіспелі дәнекерлеу материалдарды үстіңгі қабатта балқытатын электр доғасының екі дәнекерленетін бөліктері арасындағы бастамашылыққа негізделеді. Бұл үдерістен кейін балқытылған металды алып тастайтын және термиялық әсердің өте шектеулі аймағын беретін созу арқылы соғу операциясы қажет.

Бұл үдеріс көбінесе үзік дәнекерлеу кезінде (металл қосылыстарда, доңғалақ

жиектерде және т.б. қосылыстарда) немесе құбырларды үздіксіз өндіруде қолданылады (табақ металл орамынан басталатын дәнекерленген құбырлар).

Қорытпалардың барлық топтары осы тәсілмен дәнекерленеді, соның ішінде 7000 қорытпалары (7075).

MZ ең төмен жылу өткізгіштігінен тұратын металл жағына ығысады. Бұл дәнекерлеудің жалпы құбылысы басқа да дәнекерлеу (MIG, TIG) тәсілдерінде де байқалатынын атап өту керек.



Сурет 13.6. А 6005А-Т5 балқыту арқылы дәнекерлеу жігі

13.2.5 Үйкеліс арқылы және араластыру арқылы үйкеліспен дәнекерлеу

Үйкеліс арқылы дәнекерлеу техникасы құрастыруға жататын бөліктердің кем дегенде біреуін айналдыруға келтіру қажеттілігімен шектеледі¹². Оны қолдану маңызды емес және цилиндрлік бөлшектермен, соның ішінде алюминий/мыс тораптармен шектеледі.

Араластыру арқылы үйкеліспен дәнекерлеу үдерісі (FSW арнайы әдебиетінде) жақында пайда болды және балқытусыз жиналатын материалдардың металын араластыратын штифт/айналмалы құралдың көмегімен материалды қатты жылжыту жолымен алынатын балқытусыз дәнекерлеуге негізделген. Материал ағынының кернеуін азайту, бірінші кезекте, металды қыздыру есебінен құралды ауыстыру алдында үйкеліс арқылы, металл бетінде пластинаның көмегімен қол жеткізіледі, бұл біртіндеп дәнекерленген тігісті жасауға септігін тигізеді. Сонымен қатар пластина металды және қысымды ұстап тұруға, дәнекерлеу аймағынан металдың шығарылуын болдырмауға мүмкіндік береді.

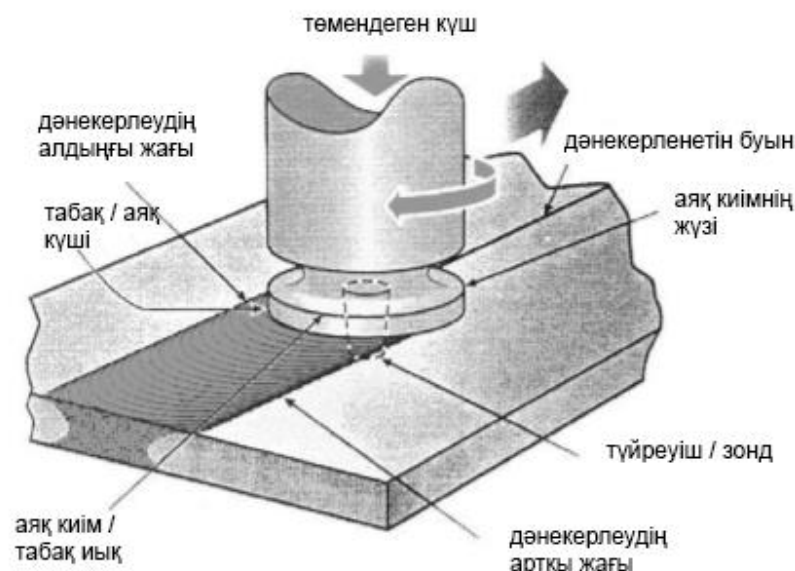
Үдеріс келесі артықшылықтардан тұрады:

- Барлық қорытпалар дәнекерлеуге ұшырайды,
- беттің аз дайындығын білдіретін кеуектіліктің болмауы,
- тұнба металсыз немесе қорғағыш газсыз шөгеді,
- бу немесе металл шашырындылары, сондай-ақ ультракүлгін сәуленің анықталмауы,

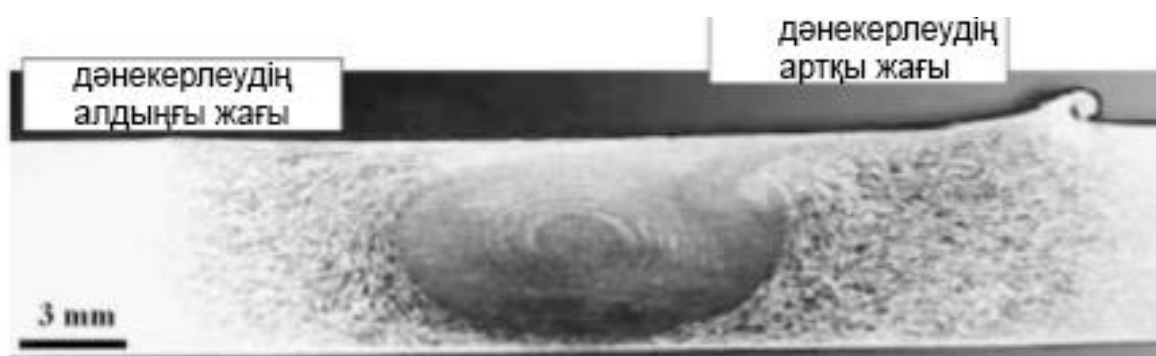
6 Үйкеліс арқылы сызықтық дәнекерлеу сынаулары алюминий қорытпаларын дәнекерлеудің орындылығын анықтамайды.

– доғалы дәнекерлеумен салыстыру кезіндегі азайтылған деформациялар.

Бұл үдеріс негізінен дәнекерлеудің жоғары жылдамдығына байланысты 6000 (6060, 6082) сериялы қорытпалармен, сондай-ақ 2000 (2024, 2219 және т.б.) және 7000 (7075, 7049 және т. б.) серияларымен пайдаланылады, олардың көпшілігі доғалы дәнекерлеуге ұшырамайды.



Сурет 13.7. Араластыру арқылы үйкеліспен дәнекерлеудің жалпы сұлбасы



Сурет 13.8. 2024 Т3 микроқұрылымы

13.2.6 Электронды-сәулелі дәнекерлеу

Дәнекерлеу электронды шоғырдың, жылдамдатылған магниттік өрістің және вакуумдық камерадағы бөлшектерге фокусталған материалдың балқымасына байланысты. Бұл үдеріс өте икемді және бірнеше жүздеген мм-ден 250 мм-ге дейін бөлшектерді дәнекерлеуге мүмкіндік береді (сатуға қол жетімді машиналар шегі).

Талап етілетін қуат дәнекерленетін бұйымдардың қалыңдығына байланысты; көбінесе қалыңдығы 3 мм ену үшін 1 кВт қажет.

Барлық қорытпалар дәнекерлеуге ұшырайды (1050А, 5083, 7075, 2024, 6061, 42100, 48000 және т.б.). Төмен дәнекерлеу жылдамдықтарын пайдалану кезінде ыстық жарылу мәселесі айтарлықтай төмендейді. Алайда, бұл жылдамдық дәстүрлі доғалы дәнекерлеу әдістеріне қарағанда әлдеқайда жоғары, өйткені 5 м/мин жылдамдыққа оңай қол жеткізуге болады. Ыстық жарылуға сезімталдықтың төмендігі, сондай-ақ дәнекерленетін бұйымдардың төмен қызуымен байланысты; бұл балқытылған металдың шөгуімен шектелген деформациялардың азаюына әкеледі. Дәнекерлеу қосымша материалсыз жүзеге асырылады, бірақ кейде сызаттарды азайту үшін қоспаланған фольганы қолдануға болады.

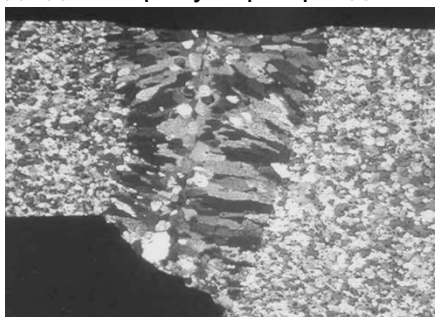
Термиялық әсер ету және балқыту аймақатыр көбінесе дәнекерленген тігістің әлсіз жері болып табылады.

Қолайлы әдіс— бұл түйісу конфигурациясы болып табылады. Қосылу біртіндеп «құлып ұңғымасының әсерімен жүргізіледі»; көбінесе дәнекерлеу білікшесінің (шөгінді борпылдақ) сөну

ақауын болдырмау үшін бөлшектердің барлық периметрі бойынша орындалады). Энергияның жоғары тығыздығы көбінесе металдың булануын тудырады; сонымен қатар будың әлсіз керілуінен тұратын кейбір элементтердің балқыма аймағында төмен концентрациясын береді. Сондықтан, ең алдымен, мырыш және магний бойынша осы шарт орындалады.

Бұл үдеріс құбырлы секциялар мен қуыс құймалар сияқты қуыс бұйымдар үшін артықшылықтардан тұрады, өйткені дәнекерлеу қабырғалар арқылы толық жүзеге асырылуы мүмкін. Ең қолайлы конфигурация-түйіспелі дәнекерлеу; дәнекерленетін бөлшектерде дөңгелектеу немесе жиектерді дайындау талап етілмейді.

- 7 Болаттағы үдеріс төмен вакууммен жұмыс істейді, ол айдау уақытын қысқартады. Жоғары тотығу сипаттамаларына байланысты алюминий қорытпаларында қолданылмайды. Атмосфералық қысым кезінде кейбір қондырғылар, сәуле жанарғыдан бірнеше мм қашықтықта шоғырланған жағдайда дәнекерлеуге ұшырайды.



Сурет 13.9. Қалыңдығы 2 мм 061Т6 электронды сәулемен алынған тігістер
Жұқа бұйымдарда айқын дәнекерлеуді орындауға болады (дөңгелек дәнекерлеу).

Кеуектіктің туындауын болдырмау үшін химиялық тазаланған таза беттер болуы керек. Көбінесе дәнекерлеу өңделген бөлшектерде саңылауларды жою мақсатында орындалады.

13.2.7 Лазерлік дәнекерлеу

10-нан 100 кВт/мм²-ге дейінгі диапазон аралығында энергияның жоғары тығыздығын алу үшін дәнекерленген бөлшектерге бағытталған монохроматикалық когерентті сәулелену арқылы металды балқытуға қол жеткізіледі. Лазерлік көздердің екі түрі бар:

- СО₂-лазер (толқын ұзындығы 10,6 мкм), ол жоғары қуат деңгейін пайдалануға, бірақ лазер шоғырын тек айна арқылы тасымалдауға мүмкіндік береді. Осылайша, үдеріс тегіс дәнекерлеумен шектеледі (роботизация үшін өте қиын);
- қатты YAG-лазер (толқын ұзындығы 1,06 мкм), ол төменгі қуат деңгейін (максимум 5 кВт) пайдаланады, бірақ ол сәулені оптикалық талшықпен тасымалдауға және салыстырмалы түрде оңай роботтауға мүмкіндік береді.

Алюминий қорытпасынан жасалған беттердің жарықтылығына байланысты сәуленің айқын көрінісі дәнекерленетін бөлшектерді балқытуға қажетті сіңіруді болдырмайды. Осылайша, білікшенің пайда болуы үшін металдың булануын бастау қажет. Сонымен, будың төмен керілуінен тұратын элементтердің болуы (атап айтқанда, магний) энергияның төмен деңгейі бар дәнекерлеуге мүмкіндік береді. 100 кВт/м² жоғары қуат деңгейлері тиімсіз, өйткені металдан бөлінген булар лазерді, әсіресе СО₂ көздерін блоктайтын плазма болып табылады.



Сурет 13.10. Түрлі алюминий қорытпаларымен лазерлік өзара әрекеттесу шегі

Лазерлік дәнекерлеу электронды сәулемен қатар, «құлып ұңғымасы» режимінде жұмыс істеу кезінде айқындылық көмегімен үздіксіз дәнекерлеуді жүргізуге мүмкіндік беретін сирек тәсілдердің бірі болып табылады. Бұл мәселені шешу өзгеріске байланысты пайдаланылатын кедергімен түйіспелі дәнекерлеу арқылы (өзара енуді болдырмайтын тотықты жабынның көмегімен) кейде нүктелі дәнекерлеудің көмегімен тораптарды ауыстыра алатын үздіксіз дәнекерленген жіктерді өндіруге мүмкіндік береді (түйіспелі дәнекерлеу, тойтару, байлау және т.б.). Доғалық дәнекерлеудегі сияқты лазерлік дәнекерлеу аз дәрежеде ыстық күйінде жарылуы мүмкін және қосымды металды пайдалана отырып жойылуы мүмкін мәселені тудыра алады.

Энергияның жоғары тығыздығы дәнекерлеу жылдамдығын бірнеше м/мин (көбінесе 5 м/мин қалыңдығы 3 мм табақтарды қосу үшін) қамтамасыз етеді.

Лазердің негізгі кемшілігі күрделі шығындар және дәнекерленген тігіс қалыңдығының төмендігі болып табылады (5 мм-ден төмен).

13.2.8 Басқа әдістер

Алюминий қорытпаларымен бірге басқа да өтпелі әдістер қолданылуы мүмкін. Көбінесе бұл әдістер өте біртекті емес материалдарды жинау және әртүрлі конструкцияларды алу үшін әзірленеді.

Жарылыспен дәнекерлеу табақтарды жабуға және алюминий қорытпаларынан жасалған аралас конструкцияларға арналған доғалық дәнекерлеуде пайдаланылатын болат пен алюминийден биметалл комбинацияларын алуға мүмкіндік береді (әскери кемеде қолдану).

Осыдан алынған технология магниттік-индукциялық дәнекерлеу болып табылады, онда энергия электромагниттік катушкадан жеткізіледі. Бұл көбінесе деформацияланған қосылыстарды (сыртқы немесе ішкі) орындау үшін қолданылады.

13.3 Алюминийден жасалған жартылай фабрикаттардың дәнекерлеу бұйымдарын дайындау және пайдалану

13.3.1 Беттердің алюминий қорытпасынан ерекшеліктері

Алюминий қорытпалары табиғи түрде өте тұрақты оксидті қабықшамен - алюминий оксидімен жабылған, оның балқу температурасы алюминийдің балқу температурасынан (2030 °C) артық. Қабықшаның қалыңдығы дайындамаларды әзірлеу үдерісіне байланысты; көбінесе құю өндірісі үшін дайындамаларда және ыстықтай басылған табақтарда дайындалады.

Оксид өндіру кезінде (мысалы, 6000 сериялы қорытпаларды шыңдау кезінде) немесе сақтау кезінде гидратацияға ұшырайды. Гидраттардың екі түрі бар:

– ыстық прокаттау арқылы жоғары температурада пайда болған; олар өте тұрақты және тек механикалық немесе химиялық шаюмен жойылуы мүмкін;

- сақтау кезіндегі төмен температурада ($T < 90^{\circ}\text{C}$) пайда болған, қарапайым қыздыру кезінде бұзылуы мүмкін.

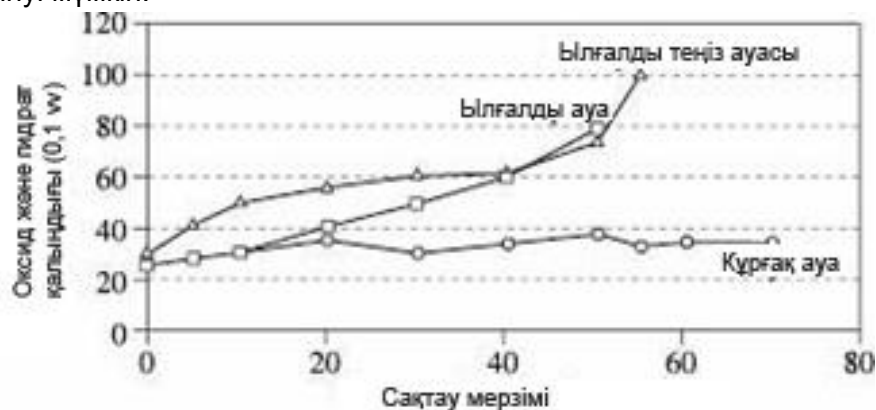
Бұл гидраттардың барлығы 5000 және 6000 сериялы қорытпаларында магниймен байытылуы мүмкін.

Нәтижесінде, өнімнің бетінде май, адсорбцияланған немесе конденсацияланған су болуы мүмкін, ол гидрат сияқты электр доғасы арқылы (немесе жай ғана балқытылған металдың жылуының әсерінен) сутек түзіп бұзылады. Бұл газ сұйық алюминийде бола отырып, зиянды және кеуектілікті тудырады және балқыту арқылы дәнекерлеу әдістерінде орын алады.

Дайындамаларды әзірлеу және пайдалану сапалы дәнекерленген тігістерді алу үшін ерекше назар аударуды қажет етеді. Бұл сапаны арттыруға қатысты ерекшеліктер кестесінің талаптарына сәйкес болуы тиіс.

13.3.2 Сақтау

Коррозияға төзімділігіне қарамастан, алюминий қорытпаларынан жасалған дайындамалар мен құймалар құрғақ, желдетілетін ортада сақталуы тиіс, өйткені қорғағыш оксид жабыны бүлінуі мүмкін.



Сурет 13.11. Сақтау шарттарына байланысты оксидті қабат қалыңдығының өзгеруі

Конденсаттың түзілуін болдырмау үшін сақтау мен дәнекерлеу орны арасындағы температурадағы айырмашылық болмайтындай шартта сақтау керек. Дәнекерленетін өнімдер мен толтырғыштардың температурасы шық нүктесінің температурасына тең немесе одан жоғары болуы орынды.

Қосымша материалдар зауыттық қаптамада сақталуы тиіс. Пайдалану мерзіміне қарамастан оларды жылытылатын шаңды емес шкафтарда (40°C) сақтаған жөн.

MIG-дәнекерлеу қондырғылары үшін жылытуды және/немесе инертті газы бар катушкаларды орнату қажет.

13.3.3 Беттік қабатты дайындау

Бұл кезеңдер дәнекерленуге көмек көрсетуге (TIG-дәнекерлеудің сулану қабілеті, түтін шығарындылары), сондай-ақ білікшенің оң нәтижелі ішкі жағдайын қамтамасыз етуге (кеуектілік, оксидті қабықшалар) бағытталған. Негізгі процедура эфир пропиленгликоль, алифатты көмірсутектер, гидрофторалкандар және т.б. түріндегі хлорланған еріткішті қолдану арқылы майсыздандыру арқылы жүзеге асырылады.

Майсыздандырудан кейін ең жоғары тығыздықта білікті тігістің оң нәтижелі сапасын алу үшін тазалау жүргізілуі мүмкін. Тазартуды механикалық тәсілмен немесе тот баспайтын болаттан жасалған сыммен айналмалы щетканың көмегімен немесе химиялық әдіспен (сода, азот қышқылымен пассивтеу және сумен жуу арқылы) жүргізуге болады. Кейбір жағдайларда майсыздандыру және тазарту сілтілік жуу құралдарын немесе сульфохромды қышқылға арналған тазалау құралдарын пайдалана отырып бірге жүргізуге болады.

Егер өнімдер құрғақ жағдайларда сақталса және өте жоғары жинақтылық қажет болмаса, майсыздандыру жиі қажет етіледі, бұл жағдайда тазалауды алып тастауға болады (NF EN 10042 стандартының D класы). Екінші жағынан, тазалау алдында қайта ластануды болдырмау үшін әрдайым майсыздандырып отыру керек.

Құюға келетін болсақ, баяу жанғыш жуу орнына құм немесе ұнтақты өңдеу ұсынылады. Бұл жағдайда майсыздандыру ұсынылмайды, өйткені қыздырусыз еріткіштердің ұшуы оларды жоюға қатысты әрдайым жеткіліксіз, нәтижесінде майлау қалдықтары беткі кеуектерге түседі. Құймаларды механикалық өңдеуді құрғақ күйінде жүргізген жөн.

TIG-дәнекерлеу кезінде майсыздандырылған беттік қабат, щеткамен тазалау немесе тотықты қабықшаны химиялық тазалау тұрақты доға алу және балқытылған металды жеткілікті суландыру үшін міндетті болып табылады. Егер үлкен тығыздық қажет болса, өнімді, оның ішінде салмалы өзекшелерді араластыруға болады.

MIG-дәнекерлеуді пайдаланған кезде, дайындамалар ылғалдан бос ортада сақталса, саңылаусыз түйіршіктердің (қуыстардың) сапасы тұрғысынан щеткамен тазалауды немесе тазартуды жүргізудің қажеті жоқ; жергілікті майсыздандыру жеткілікті. Екінші жағынан, егер кеуектіліктің төмен деңгейі талап етілсе, майсыздандыру таза болуы тиіс.

Түйіспелі дәнекерлеу кезінде, егер дәнекерлеу өзекшесінде кейбір кеуектерге жол берілетін болса, майсыздандыру және тазалау міндетті болып табылмайды.

Электронды-сәулемен дәнекерлеу кезінде майсыздандыру және тазалау міндетті түрде ұсынылады. Араластыру арқылы үйкеліспен дәнекерлеу үшін майсыздандыру ұсынылады.

13.3.4 Дәнекерленген жіктерді тазалау

MIG-дәнекерлеу кезінде Al-Mg (5356, 5754 және т.б.) жасалған қоспаланған сымдар беткейде және білікше шетінде жабысқан қара күйені қалдырады. Al-Si (4043A, 4047A және т.б.) сымын пайдалана отырып жасалған дәнекерленген жіктер оң нәтижелі шарттарда орындалса, біліктің басында із қалдырмайды (жабдықты дұрыс баптау, дәнекерлеу ваннасын газдан қорғау жеткілікті). Күйені қысым астында сілтілік шаю арқылы жоюға болады. Қуыс бұйымдар үшін енгізу арқылы шаюсыз тазалау ұсынылмайды (кезекті коррозия қаупі).

13.4 Деформации

13.4.1 Кіріспе

Балқыту арқылы орындалатын дәнекерлеудің барлық үдерістері доғалық

дәнекерлеудің дәнекерленген бөлшектерде деформация мен кернеуді тудырады. Деформация мен кернеу тығыз байланысты, көбінесе кернеуді жою бұрмалауға әкеп соқтыруы мүмкін.

Барлық материалдарға қатысты бұл құбылыстар алюминий қорытпаларының физикалық қасиеттерімен күшейтіледі (13.3-кестені қараңыз), олардың жоғары жылу өткізгіштігі бөлшектердің айтарлықтай қызуын тудырады. Қысу кезінде қызған бөлшектердің қызып кетуін болдырмау үшін алюминий қорытпаларының жоғары кеңею коэффициентімен ұштасқан жалпыланған температураның жоғарылауы салқындағаннан кейін қалдық деформация арқылы қажетті кеңейтуді тудырады. Жалпы қабылданған ұғымдарға қарамастан, білікше қатайған кезде шөгудің емес, қыздырылған алюминий қорытпаларын дәнекерлеу кезінде пайда болатын мәселелердің көзі болып табылады.

Кесте 13.3. Алюминий мен жұмсақ болаттың физикалық қасиеттерін салыстыру

Қасиеттері	Al 1050A	Болат S235	Алюминий/болат
Серпімділік модулі (Юнг модулі)	70,000	210,000	0.33
Тығыздық (кг/м³)	2,700	78,000	0.34
Балқу нүктесі (°C)	658	1,535	
Массалық жылу сыйымдылығы	897	420	2.1
Массалық ішкі энергиясы (кДж/кг -1)	385	210	1.8
Үлестік жылу өткізгіштігі (Вт/м°K)	237	46	5.1
20 және 100°C арасындағы сызықтық кеңейту коэффициенті (10 ⁻⁶ K ⁻¹)	23	12	2

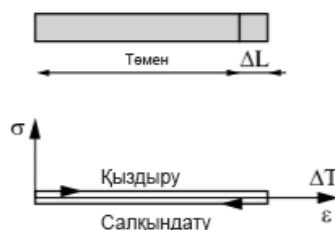
(*)Шөгу қоспаның сапасына байланысты.

4000 тобының ерекше металдары оны айтарлықтай азайтады, ол 4047 кезінде өте төмен (Al-Si12).

Бөлшектерді берілген қалыпта сақтау, сондай-ақ білікшелердің орындалу реті мен бағыты деформацияның төмендеуінің негізгі факторлары болып табылады. Бұрмалауды азайту үшін пайдаланылатын қыздыру кезінде қысылған деформацияны дәнекерлеуді туындаған деформациядан ажыратуға болады.

Болат пен алюминийді салыстыру (қыздыруға қатысты деформация)

Тіркелген құрылымдарды дәнекерлеу жағдайында¹⁴ алюминий қорытпаларының деформациясын тудыратын механизм болат қорытпалар сияқты әсерлері өте әртүрлі. Болат бөлшекте жалпы қол жеткізілетін температура 100 °C-ден айтарлықтай төмен болып қалады; алюминий қорытпаларында ол көбінесе жоғары. Бөлшектер еркін түрде кеңейтілсе, кернеу анықталмайды (13.12-суретін қараңыз).



Сурет 13.12. Сығылған жүйелерді дәнекерлеу кезіндегі деформация/кернеу диаграммасы

Ұзындығы 1 м бөлшектер дәнекерленген жағдайда қыздыру жылулық кеңейтілімге әкеп

соқтырады (1) $\Delta l = E \cdot \alpha \cdot \Delta T \cdot l$. мм S235 типті болат үшін 0,2 мм 5083-О алюминий қорытпасы үшін дәнекерлегеннен кейін L 1,8 мм болат бөлшектің орташа температурасы 40 °C және алюминийден жасалған бөлшектер үшін 100 °C температураны құрайды.

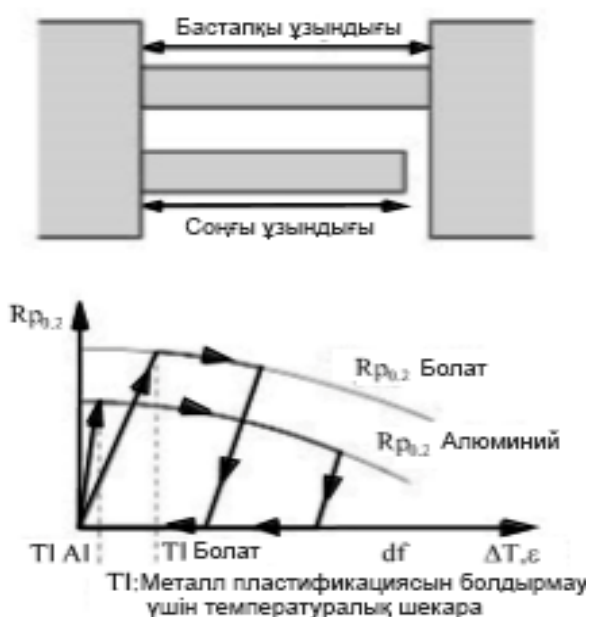
Егер алынған құрылым қысылған болса, құрастыру кезінде бөлшектер бірдей қысу кернеуі арқылы қысылады (2) $\sigma = \varepsilon \cdot E = \alpha \cdot \Delta T \cdot E$. Бұл кернеу материал ағымдылығының шегіне, әсіресе HAS¹⁵-те артатын деңгейлерге жетуі мүмкін, ол өз кезегінде бөлшектің ұзындығын азайтуға әкеледі. Сонымен қатар, болатты пайдаланғаннан гөрі алюминий қорытпаларын пайдалану кезінде температураның әсерінен ағымдылық шегі жылдам түседі (13.4-кестесін қараңыз).

Дәнекерлеу кезінде «қысу» термині оның ең үлкен ұзындығы бойынша кеңейтілімді болдырмауды белгілеу үшін қолданылады.

Білікше маңындағы аймақ (20 мм) қорытпаға қарамастан 300°C-тан жоғары болады.

Кесте 13.4. Температураға байланысты әр түрлі материалдардың ағымдылық шегінің эволюциясы (ұзақтығы <5 мин)

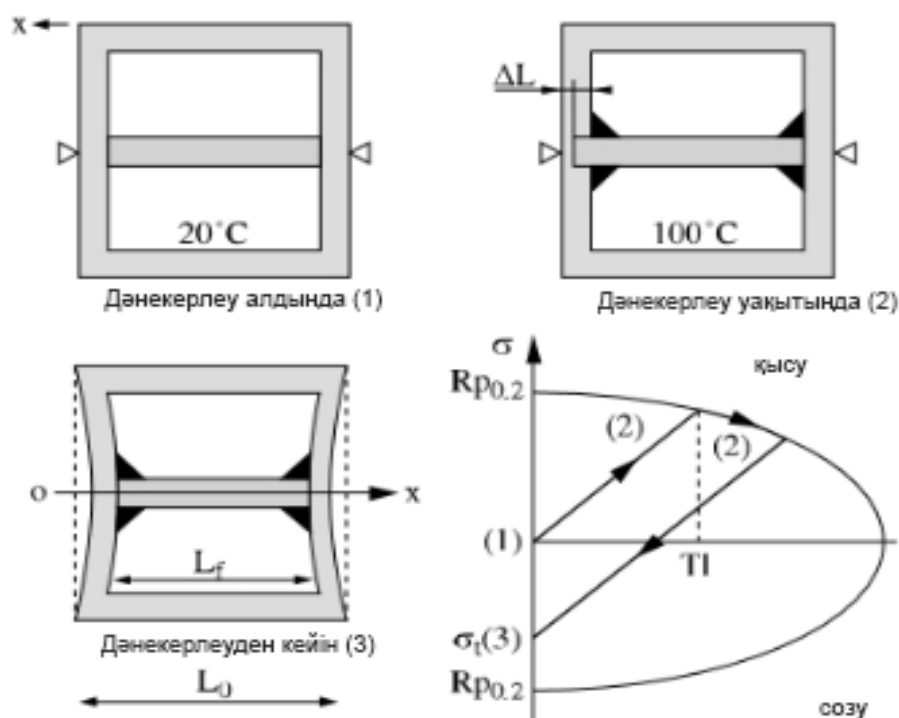
Материал	Rp0.2 (МПа)			
	20°C	100°C	200°C	300°C
Болат S235	220	220	210	200
6061-T6	275	260	220	90
5083-О	145	145	140	50



Сурет 13.13. Қысылған бөлшектерді дәнекерлеу кезіндегі кернеу диаграммасы

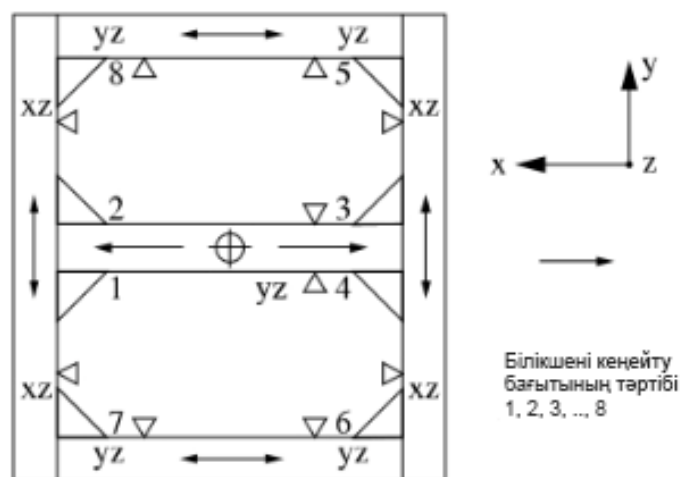
(2) формулаға сәйкес, 220 МПа ағымдылық шегінен тұратын жұмсақ болатқа қатысты, толық пластикациялаудың қажеті жоқ металға арналған температуралық шекара 5083-О сорты үшін 90 °C-қа қарағанда 100 °C жуық температураны құрайды. Болатпен салыстырғанда алюминий қорытпалары үшін айтарлықтай кернеу мен деформациялар қажет.

Дәнекерлегеннен кейін толық шөгу жеңілдетілген түрде немесе қатты құрылымдарда немесе қалың бұйымдарда елеулі қалдық кернеумен, немесе иілгіш конструкцияларда деформация жолымен ауыстырылады (13.14-суретін қараңыз).



Сурет 13.14. Иілгіш конструкцияларды дәнекерлеу кезіндегі деформация/ кернеу диаграммасы

Осы деформацияларды немесе барлық бөлшектерге әсер ететін ішкі кернеулерді жою мақсатында дәнекерлеудің қыздырылған үдерісі нақты орталықтандыруды және білікшені орындау тәртібін талап етеді (13.15-суретті қараңыз). Сонымен, бөлшектердегі қалдық кернеудің жалпы деңгейі ең алдымен жиек пен қысылу жағдайына байланысты.



Сурет 13.15. Сығылмаған құрылымдар үшін тігістерді қабаттастыру кезектілігі

Бөлшектерді берілген қалыпта ұстап тұру дәнекерлеу циклі ішінде кеңейтудің әсерін азайтатын бағытта, соның ішінде болат табақтарға қатысты бұйымның қалыңдығына сәйкес және профильдерге қатысты дәнекерленген тігістерге параллель бағытта бекіту арқылы қол жеткізіледі.

13.4.2 Шөгу

Балқыма аймағының қалыптасуын ілестіретін шөгу құбылыстары дәнекерлеу ваннасының химиялық құрамына және балқытылған металдың мөлшеріне байланысты күрделі болып табылады. Ол 4000 (4043A және әсіресе 4047A) сериясындағы қосымша материалдарды пайдалану есебінен азаяды. Бұл шөгінділер екі құбылыстың комбинациясы болып табылады:

- Сығылған аймақтың оқшауландырылған қызуы (13.5.1-бөлімде сипатталғандай), бұл жағдайда сұйықтық аймақ қандай да бір кернеуден еркін орналасқан;
- Алдағы уақытта созылуға ұшырайтын балқыма аймағының қатаюы (егер қорытпа қабылдағыш болса, ыстық сызаттардың пайда болу қаупі бар), сондықтан білікше аймағына созу күштерімен әсер етеді.

Білікшенің бірінші минутта бөлшектерден әлдеқайда қысқа екенін есте сақтауымыз керек. Кейде бұрмалауды алдын ала деформацияның көмегімен немесе олардың орналасуын анықтайтын ортаға дәл келтіру арқылы азайтуға болады. Бұл кезеңде білікшенің көлденең шөгуін білікшенің бойлық шөгуінен ажырату қажет.

Білікшенің көлденең шөгуін оның формасына сәйкес (бұрыштық немесе түйіспелі дәнекерленген қосылыстар) және көлеміне байланысты (бұйымның қалыңдығына байланысты) 0,3 және 1 мм арасындағы өзгеріс ретінде бағалауға болады. Деформацияға ұшырайтын бұйымдарға қатысты бұл дәнекерлеу бөлшектерінің бұрыштық деформациясын береді.

Бойлық шөгу өздігінен шектелген қалың бұйымдардың ішкі кернеуіне айналады және жұқа және/немесе ұзын бұйымдарда дәнекерленетін бөлшектердің алдын ала деформацияламай оны жою қиын (дәнекерленуге жататын аймақты жергілікті созу).

Үзік білікшелерді (қысқа кесінділерді) дәнекерлеу осы шөгінділерден деформация амплитудасын азайту үшін қолданылады.

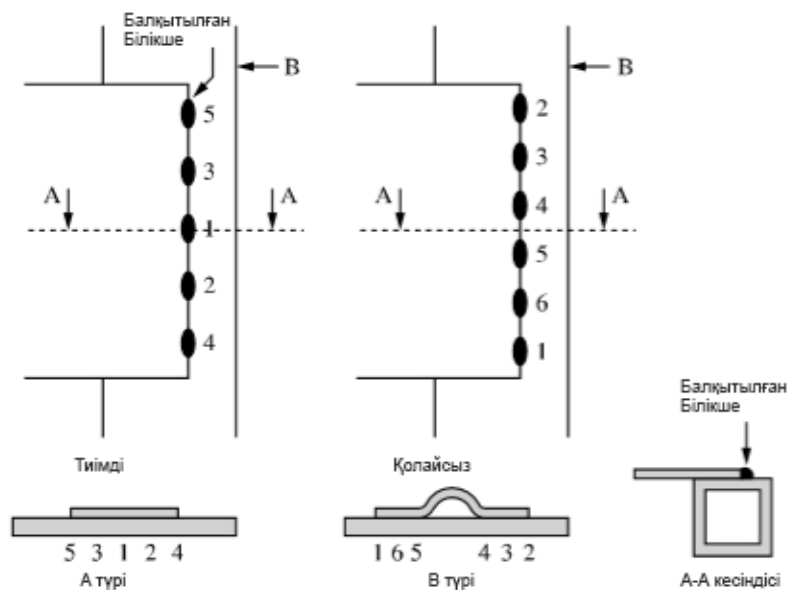
13.4.3 Негізгі ережелер

Бұл шөгінділер екі құбылыстың комбинациясы болып табылады:

- Сығылған аймақтың оқшауландырылған қызуы (13.5.1-бөлімде сипатталғандай) және жылжымалы құрылымдарды құрастыра отырып кеңейтуді оңай жүзеге асыру үшін сұйық аймақ қандай да бір кернеулерден еркін орналасқан; Олар көбінесе кеңейту бағытында дәнекерленген тігістер нысанынан тұрады.

Құрастырудың осы түрінде бөлшектер бұйымдар арасында алшақтау арқылы дәнекерленуді болдырмау үшін берілген күйде ұсталады, ол механикалық беріктікке, қажу шегіне (тігуге) әсер етуі мүмкін. Жиынтықтаушы бұйымдарды кеңейтуді сүйемелдеу мақсатында, сондай-ақ жиынтықтауыштарды кеңейтуді толықтыру үшін бекітілмеген құрылымдық қолдануға болады. Бекіту қысу жабдықпен жүзеге асырылған жағдайда деформацияның қатты нашарлауы байқалады, ең тиімді мысал бұрандалы қысқыш болып табылады;

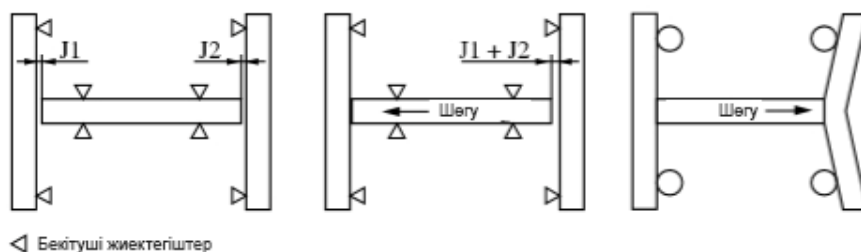
- шөгуді қалпына келтіру үшін білікшелерді орындау тәртібін оңтайландыру қажет. Сонымен, білікшелердің бос жиектеріне жылжыған кезде, алдымен, олардың өздігінен шектеу үшін бөлшектердің ортасына орналастыру керек. Үзік (қысқа) дәнекерленген жіктер жағдайында білікшелер дәнекерленетін бөлшектердің ортасынан басталып, реті бойынша кезектесуі тиіс (13.16-суретін қараңыз).



Сурет 13.16. Қатты қаңқа бойынша еден панелін қысқа мерзімді дәнекерлеу

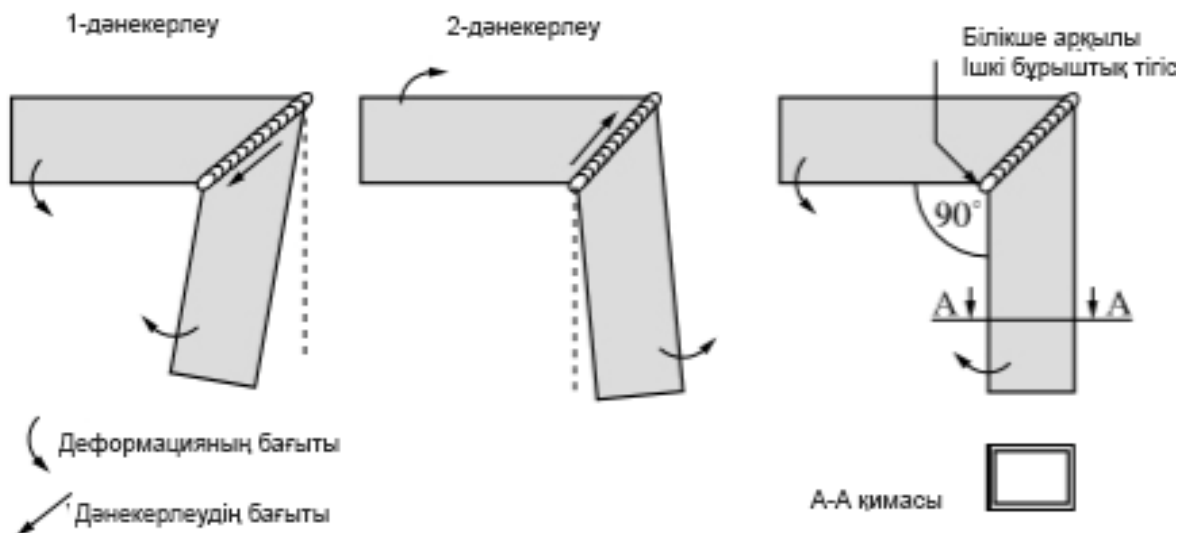
Жоғарыда айтылғандай, қатаю кезінде болатқа қарағанда алюминий қорытпалары маңызды болуы мүмкін. Бұл құбылыс дәнекерлеу саңылаумен орындалғанда одан да үлкен қауіп тудыруы мүмкін. Жаңа MIG-дәнекерлеу жабдығы алюминий қорытпасынан жасалған жұқа бұйымдарды дәнекерлеуге арналған болса да, ол бастапқы саңылау көлемі мен шөгуін кеңейтудің жиынтық әсері кезінде алғашқы бірнеше миллиметр дәнекерлеуден кейін жойылады. Саңылауы бар Білікше түйіскен дәнекерлеу пассивті деформацияға немесе ішкі кернеуге әкеледі.

Осылайша, қатты құрылым бойынша дәнекерленген торап үшін жинақталатын шөгінді әсер соңғы білікшелерді дәнекерлеу кезінде термиялық әсер ету аймағындағы ағынның кернеуін күшейте отырып, деформацияға әкелуі мүмкін (13.17-суретті қараңыз). Ортаға дәл келтіру нүктелері дәнекерлеу аймақтарынан мүмкіндігінше ең жоғары қашықтықта орналастырылады.



Сурет 13.17. Саңылаулардың таралуы және ілеспе бұрыштық деформация

Серіппелі тарту немесе кері бұру арқылы жалғауды пайдалану осы пассивті деформациялардың алдын алу құралы болып табылады. Білікшенің көлденең шөгуі дәнекерленген тігістің соңына қарағанда кең екенін ескеру қажет. Бұл қағида 13.18-суреттегі мысалда қолданылады, білікше деформациясы кезекті дәнекерленген тігіс арқылы сирек қалпына келтіріледі.



Сурет 13.18. Дәнекерленген тігіс білікшесінің соңында деформацияның бөлінуі (бұрыштық деформация төменгі бұрышта білікше арқылы қалпына келтірілуі мүмкін)

Келесі талаптарды орындау маңызды:

- деформацияны азайту үшін екі параллель бауды бір бағытта дәнекерлеу,
- бөлшектің жиектері болып табылатын өздігінен қорғалған немесе әлсіз жерге тұйықталған аймақтар, яғни материалдың мөлшері аз және/немесе қаттылығы төмен аймақ бағытында дәнекерлеуді орындау.

13.5 Дәнекерлеу құрылымдарының мөлшерін анықтау

13.5.1 Электростатикалық кедергінің бөгеті

Дәнекерленген жіктер алюминий қорытпаларының механикалық қасиеттерін төмендетеді: құрылым өлшемдерінің есебін ескеру қажет. Төменде 9 Евурокод [ENV 99a] бойынша дәстүрлі доғалы дәнекерлеу әдістерімен орындалатын дәнекерленген жіктер үшін есептеулерді тексерудің жалпы сұлбалары берілген (TIG және MIG)¹⁶.

Элементтердің беріктігін есептеу білікке жақын аймақтың тәртібін, сондай-ақ термиялық әсер ету және балқыманың (MZ) аймағын есепке алуы тиіс. Көбінесе термиялық әсер ету аймағын есептеу жеткілікті болып табылады, бірақ екі аймақты бұрыштық тігістер үшін қалың бұйымдардағы білікше арқылы тексеру қажет.

Өлшемдерді анықтау үшін материалдың беріктігі дәнекерленген тігістердің жанында біркелкі түрде азаяды. Бұл созылу кезінде рұқсат етілген кернеуге көбейтілген σ_{HAZ17} коэффициентін қолдану арқылы есептеледі (f_{osozu} үшін, $f_u = f_o / \sqrt{3}$ ығысу үшін), термиялық әсер ету аймағында аспауы тиіс пайдаланудың шекті мәнін береді f_{ZAT} (МПа).

Термиялық әсер ету аймағының ені бұйымдардың қалыңдығына, геометриялық конфигурацияға, өту жолдары арасындағы температураға, сондай-ақ дәнекерлеу үдерісіне байланысты. Осылайша, TIG-немесе MIG-дәнекерлеу жартылай шамы 20-дан 40 мм-ге дейін өзгеруі мүмкін.

Термиялық әсер ету аймағы дәнекерлеуге ұшырайтын бөлшектің барлық қалыңдығына таралады деп саналады.

Басқа да дәнекерлеу үдерістері кезінде термиялық әсер ету аймағында механикалық сипаттамалардың дәрежесі мен жоғалуын бағалау үшін алдын ала сынауға және микротақтылығын өлшеуге сілтеме жасауға болады.

Бұл «металлургиялық ПӘК-ке» қатысты DTU-да алюминийдегі ұ құрылғы деп аталады немесе көтергіш металл құрылымдары үшін Еуропалық конвент ережелері бойынша белгілі; оны сол атауы арқылы формуламен шатастырмау керек.

Кесте 13.5. ТӘА есептеулерінің ескерілуі

Бұйымдардың қалыңдығы	ТӘА ені (мм)
0 < қалыңд. d 6 мм	20
6 d қалыңд. d 12 мм	30
12 d қалыңд. d 25 мм	35
қалыңд. > 25	40

Көбінесе бұл мәндер термиялық әсердің жұмсарылған аймағының немесе осындай металлургиялық құрылымы жоқ балқыманың аймағының болуына байланысты жинақталмаған материалдардан төмен болады.

Жұмсарту коэффициенті өнімнің бастапқы жағдайына және қолданылатын үдеріске байланысты. Кесте қорытпаға, оның термиялық жағдайына (H немесе T) және 6000 қорытпаларға арналған дәнекерлеу үдерістеріне байланысты ұсынылған (TIG- немесе MIG-дәнекерлеу).

Кесте 13.6. d_{HAZ} модификация коэффициенті; [ENV 99b]

Қорытпалар топтамасы	Жылулық күйі	$U_{++\$} = (MIG)$	$U_{++\$} = (TIG)$
1000	H14	0.6	0.6
3000	H14, H16, H18	0.6	0.6
5000	H22 H24	0.86 0.8	0.86 0.8
6000	T4 T5 T6	1 0.65 0.65	0.6 0.5
7000	T6	0.8 to 1	0.6 to 0.8

1 мәні, O немесе H111 күйіндегі қорытпалар үшін алынады

Кесте 13.7. Кейбір қорытпалардың f_{MZ} балқымасы аймағындағы кернеудің рұқсат етілетін мәні; [ENV 99b]

Рұқсат етілетін кернеудің мәні	Қоспаланған материал	Қорытпа							
		5052	5454	5083	6060	6005A	6061	6082	7020
f_{MZ} (МПа)	5356	170	220	240	160	180	190	210	260
	4043A				150	160	170	190	210

FW тігісінің кернеу шегі жинақтауға ұшырайтын металдарға және пайдаланылатын қосымша материалға байланысты (5356 және 4043A).

Гетерогенді дәнекерленген тігіс жағдайында кернеудің ең төмен шегі қолданылады.

Сонымен, термиялық әсер ету аймағында f_{HAZ} рұқсат етілген кернеудің және балқыма аймағында f_{MZ} төмендеуін ескере отырып, дәнекерлеу жігін тексеру термиялық әсер ету аймағына Мизес фонының дәстүрлі критерийін қолдану арқылы орындалады.

Бұрыштық тігістер кезінде кордтың параллельді және перпендикулярлы жылжуын

есептеу үшін білікше арқылы болатқа қолданылатын Бета формуласы қолданылады. Алюминий қорытпалары үшін 1-ге тең.

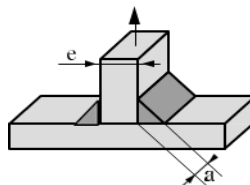
$$\sigma_c = \beta \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)}$$

Білікше арқылы бұрыштық тігіске параллель қалыпты кернеулер тігістерді есептеу кезінде есепке алынбайды.

Бұл жағдайда бөлшектердің иілу орнықтылығының шарттары дәнекерлеу жіктері болған кезде ұлғайтылатын s асимметрия коэффициенті арқылы термиялық әсер ету аймағының әсерін ескереді.

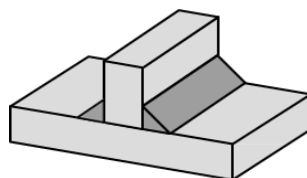
Дәнекерлеу дисперсиясының факторлары және орындау сапасы кернеу шегін төмендететін беріктілік коэффициентін JMS қолдану арқылы ескеріледі. Дәнекерлеудің қалыпты сапасымен орындалған білікшелер үшін бұл коэффициент $\gamma_{MS} = 1.25$ мәніне ие болады. Төмен сапа деңгейімен дәнекерленген білікшелер үшін мәні $\gamma_{MS} = 1.60$.

Білікше арқылы немесе үстіңгі жағының қосылысының бұрыштық тігісі көбінесе қарастырылатын екі нақты жағдайға арналған өлшемдердің есебі төменде берілген (13.19 және 13.20-суреттерін қараңыз).



F: Түсірілген күш, L: дәнекерлеуге арналған ұзындық, e: бұйым қалыңдығы

Сурет 13.19. Дәнекерлеудің осіне перпендикуляр жүктеме арқылы екі бұрыштық тігіспен дәнекерленген біріктіру



Сурет 13.20. Екі бұрыштық жіктер арқылы және дәнекерлеу осіне параллель жүктеме түсірілген дәнекерлік қосылыс

13.5.2 Қажу дәрежесін есептеу

Дәнекерленген құрылымдардың шаршаңқы беріктігі болат үшін конструкциямен (құрастыру конфигурациясымен) анықталады; 6-тарауды қараңыз.

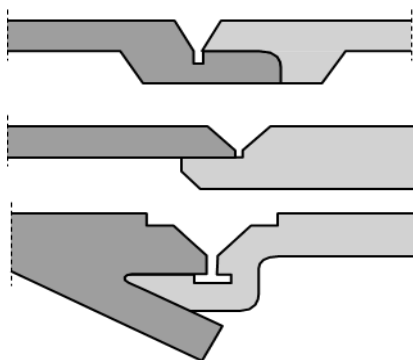
Қорытпалардың жалпақ дәнекерлеу үйлесімділігі профильдерді (негізінен 6000) және құймаларды (40000) тегіс бұйымдармен өзара әрекеттесуде (5000) оңтайлы пайдалануға мүмкіндік береді. Құймадан және құйма дайындамалардан жасалған алюминий бұйымдары өнімділікті арттыруға қабілетті өтпелі конфигурациялардың құрылымы бойынша интеграциялау мүмкіндігінің артықшылығына ие. Бұл бұйымдардың барлығы дәнекерлеуден кейін ішкі қажудың бірдей сипаттамаларына ие, олардың әрекеті жергілікті геометриялық кернеу деңгейіне (ыстық нүкте) және білікше сапасына байланысты [ENV 99b]. Көбінесе ең нәтижелі сипаттамаларға тиімді конфигурациялар арқылы қол жеткізіледі, олар орташа сапалы білікшелерді пайдалануға мүмкіндік береді, бірақ білікшелердің жақсы орындалу сапасы нашар калибрлеуді қалпына келтірмейді. Теріс ақаулардың білікше басында көп екенін (жабысу қаупі, жеткіліксіз ену) ескере отырып, бос шеттерінде білікшенің ұштарын орналастыру жиі қажу әрекетіне зиянын анықтау керек.

13.5.3 Дәнекерлеу құрылымдарын оңтайлы пайдалануды реттейтін ережелер

Бірінші ереже төмен жүктемеге ұшырайтын немесе мүлдем жүктелмеген аймақтарда дәнекерленген жіктерді орналастырудан тұрады, екіншісі - дәнекерленген жіктерге білікше арқылы артықшылық бере отырып, түйіскен дәнекерленген жіктерді пайдаланады, өйткені олар электростатикалық пайда болуы мен қажу сипаттамаларының тиімді кедергісін қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, профильдерді түйістіріп дәнекерлеу немесе құймаларды қалыптау жағдайында, тұрақты енуді қамтамасыз ету мақсатында, жиектерін бөлуді қоса алғанда, құймаларда немесе бұралған дайындамаларда дәнекерлеу ванналары тірегінің планкасын орналастыру қажет (6.21-сурет).

Дәнекерлеу үдерісінің жобалау кезеңінде деформацияға қатысты белгілі бір шаралар назарға алынуы тиіс. Жиналатын бөлшектер арасындағы үйлесімді қалыңдықты сақтау қажет.

Екі ара қатынасты орнату доғалық дәнекерлеу кезінде қауіпсіздіктің жеткілікті факторы болып табылады, онда айқын дәнекерлеу (лазер, электрондық сәуле) немесе байланыс дәнекерлеу кезінде (дәнекерлеу қалыңдығы ең төмен мәнімен анықталады) елеулі ауытқуларға жол беруге болады. Дәнекерлеу кезінде жылжымалы қосылыстарды жобалау арқылы деформацияны азайту мүмкіндігін қарастыру қажет.



Сурет 13.21. Профильдерге немесе құймаларға арналған жиектерді дайындау сұлбасы

13.6 Дәнекерлеудің ақаулары

Мұнда доғалы дәнекерлеу әдістерін пайдалана отырып, алюминий қорытпаларын дәнекерлеу кезінде жиі кездесетін ақауларды атап өтеміз.

Статикалық қасиеттері білікшенің тиімді қимасымен, ал қажу күші жергілікті кернеудің деңгейіне байланысты. Статикалық қасиеттерге келетін болсақ, біліктің тиімді көлденең қимасына әсер ететін ақаулар зиянды болып табылады. Осылайша, доғалы дәнекерлеу кезінде алынған кеуектілік дереу араласуды талап етпейтін қажу беріктігіне аз әсер етеді, бірақ дәнекерленген жіктердің статикалық қасиеттеріне айтарлықтай әсер етуі мүмкін.

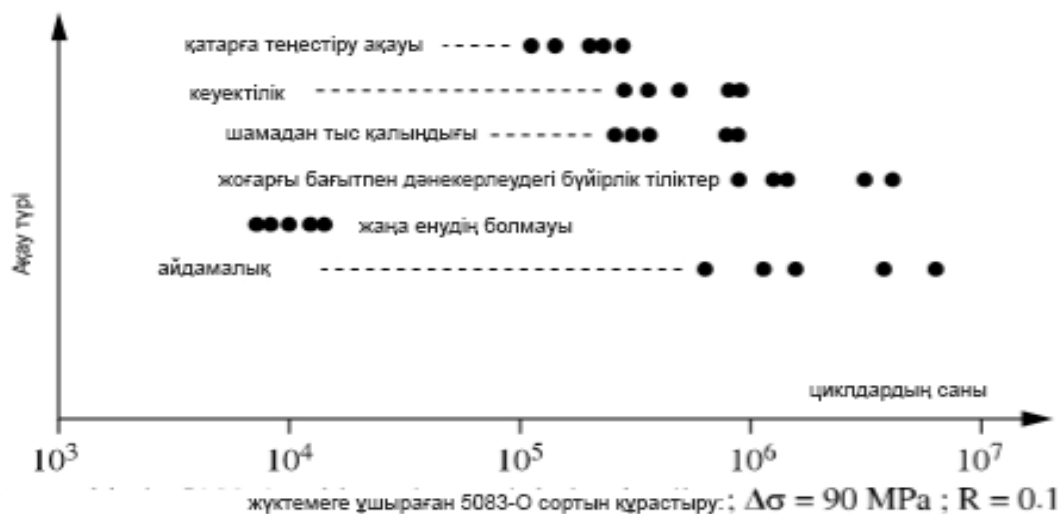
Жұқа бұйымдарда 2 мм кем білікшенің артқы жағында құбырдың шөгу қаупі дәнекерленген жіктерінде білікше арқылы осы аймақтыкішірейтуі мүмкін.

Дәл ығыспайтын ақаулар және әсердің барлық эффектілері (қуыс бұйымдардың бір жағында ғана дәнекерленген тігістер) білікшенің ішкі ақауларымен салыстырғанда, материалдың қажуына қатысты бұзылады.

Білікшенің ең зиянды ақаулары кесіндінің нығыздалуына байланысты толық емес балку, және білікшенің шетіне балку немесе жабысудың болмауы болып табылады, бұл 5000-

топтамасының қоспаланған материалдары арқылы доғаның тым жоғары кернеуінен туындайды.

Сондай-ақ, жиектің бөлу бұрыштарын мен білікшенің дөңестігін атап өту қажет. Оларды түйісу дәнекерлеу кезінде жиектерді өңдеу арқылы азайтуға болады ¹⁸. Дерееу араласуды талап етпейтін газ тесіктері ұзақ уақытқа қатысты елеулі әсер етпейді (13.22-сурет).



Сурет 13.22. Түйісу дәнекерлеу ақауларының қауіптілігі. Созылатын үлгілердің қажу әрекеті

13.8-кестеде ағымдағы ақаулардың көпшілігінің пайда болуы олардың Халықаралық дәнекерлеу институтының (IIW) сәйкестендіру нөмірімен және NFEN 26520 стандартына сәйкес көрсетілген.

Жиектердің бөлінуі қалыптасқан немесе құйылған бұйымдар үшін тікелей және белгілі бір қосымша шығынсыз жеткізілуі мүмкін екенін есте сақтаған жөн.

Кесте 13.8. Негізгі ақаулар

IIW No	Ақаулар	Ықтимал құбылыс
104	Сыну кратері	Білікше лездік доғаны өшіру арқылы аяқталады
200	Құюдағы бос орын	Беттік қабатта ыдырайтын химиялық қосылыстардың болуы (лас немесе нашар тегістелген тұнба материалдың түзілуі) Сұйық ваннаны нашар тұрақтандыратын өңдеу «Газбен уландырылған» металл (әсіресе құйылған дайындамалар) Доғаның шамадан тыс биіктігі (доғалық дәнекерлеу)
402	Дәнекерлеудің толық орындалмауы	Білікше басында сым берудің жеткіліксіз жылдамдығы (MIG-дәнекерлеу басында ток жетіспеушілігі) Дәнекерлеудің шамадан тыс жылдамдығы (немесе ваннадағы дәнекерлеу). MIG-дәнекерлеу кезінде қалың бұйымдарда фасканы дұрыс емес дайындау (тым тар, артық табан) Доғаның шамадан тыс биіктігі
4011	Жеткіліксіз балқыту (sticking)	Доғаның шамадан тыс биіктігі Білікше басында сым берудің жеткіліксіз жылдамдығы (MIG) Компоненттің тым суық болуы (дәнекерлеу материалдарының қалыңдығының айырмашылығы)
506	Шеткі арқылы өту	Қату аралығы қосымша сым мен негізгі материал үшін әртүрлі (көбінесе TIG-4000 металымен дәнекерлеуде кездеседі) Доғаның шамадан тыс биіктігі
5013	Жіктің тамырын кесу немесе дәнекерлеу жігінің артқы шөгінді раковинасы (<2 мм қалыңдықтағы жұқа табақтарда ғана)	Артық дәнекерлеу энергиясы Бөлшектер арасындағы артық саңылау Дәнекерлеу бастиегінің жеткіліксіз еңіс бұрышы
509	Жаншылу	Артық дәнекерлеу энергиясы Тым әлсіз дәнекерлеу бастарының жылдамдығы

13.7 Қауіпсіздік және еңбекті қорғау

Алюминий қорытпаларын дәнекерлеудегі қауіптер көбінесе басқа материалдармен байланысты (доға әдістерінде шағылыстыру, термиялық күйіктер, доғалы дәнекерлеу үдерісіндегі озон булары мен шығарындылары және т.б.). Алайда алюминий қорытпаларына тән физикалық және химиялық қасиеттерін ескеру керек.

Беттік қабаттардың жоғары шағылысу қабілеті шағылыстыру, бетті қорғау (орнатылған маска) және терінің барлық ашық бөліктерін қорғау (резервуарларды немесе жабық ыдыстарды дәнекерлеу кезінде) ерекше қырағылықты талап етеді; S 77-104 сәйкес 10-13 класты қорғаныс сүзгілері пайдаланылуы тиіс (болатты дәнекерлеу кезінде сүзгілерге қарағанда айқын емес).

Алюминий қорытпалары жақсы жылу өткізгіштері болып табылады, сондықтан күйік қаупі артады (қорғаныш киімі қажет).

Озон өндірісі доғалық дәнекерлеуде маңызды мәнге ие; Al-Mg (орта есеппен 0,05 ч / млн) қондырма материалын қолданғаннан гөрі Al-Si (орташа есеппен 0,15 ч / млн) қондырма материалын қолданғанда шығарындылар деңгейі жоғары екенін атап өткен жөн. Бұл мән 22 вольт дәнекерлеу кернеуінде айтарлықтай артады.

Кейбір қорытпаларда аз мөлшерде бериллий (5000 қорытпалар) кездеседі. Доғалық дәнекерлеу үдерістегі төмен деңгейдегі (0,0008% төмен) қосымды материалын пайдалануды көздейді. Кейбір қорытпалар осы ережеден (4011) ерекшеленеді. Пайдаланушы дайындамаларға тапсырыс беру кезінде осы талапты көрсетуі тиіс.

13.8. Колданылған әдебиеттер тізімі

[EN 99] EN.1011-4, Soudage – Recommandations pour le soudage des métaux – Partie 4: Soudage à l’arc de l’aluminium et des alliages d’aluminium, 1999.

[ENV 99a] ENV1999-1, Eurocode 9 part 1: general rules, 1999.

[ENV 99b] ENV1999-2, Eurocode 9 part 2: fatigue, 1999.

[FD 96] FD.CR.12187, Lignes directrices pour un groupement des matériaux pour le soudage, 1996.

Стандарттау: дәнекерлеуді ұйымдастыру және сапасын бақылау

14.1 Кіріспе

Бірнеше жылдар қарсаңында құрастыру сосуд немесе дәнекерлеу құрылымдарын дайындау нормативтік мәтіндердің немесе стандарттаудың мәні болып келді. Қысымдағы түтікшелердің аймағы шамамен 30 жылдай нормалармен және ережелермен қарастырылды, бұл уақытта болат құрылымына қатысты Р 22 сериялы француз стандарттары 1975 жылдан бастап орнатылды. Осыған ұқсас, дәнекерлеу көмегімен құрастыру 1980-жылдардың аяғында жарияланған және 1995 жылы қайта қаралған NF Е 83-100 «Құрастыру буындарының құрылымы: дәнекерлеу үдерістері» француз стандартының бес бөлігі арқылы қарастырылады.

1987 жылы күшіне енген Еуропалық «Қысымдағы қарапайым түтікшелер» директивасы, одан кейінгі «Жылудың отсыз берілісінің қысым бойынша жұмыс істейтін түтікшелері», CEN/TC 121 «Дәнекерлеу» техникалық комитеті әзірлеген стандарттарды, ұлттық стандарттаудың қолданыстағы жинақтарын ауыстыруға бағытталған стандарттарды әзірлеу мен қабылдауды қамтыды.

Аталған еуропалық стандарттарды талдау оңай емес, себебі олар толықтай тұрақталмаған және әртүрлі себептер бойынша қайта қарауға ұшырайды, ол өз кезегінде олардың құрылымының елеулі өзгеруіне әкеп соқтырады. Дегенмен, жұмыс жалпы тақырыптарды талқылау және оларды қолдануға қатысты негізгі тақырыпты түсіндіруге байланысты жеткілікті.

Сонымен, алдағы уақытта үш пән дамиды:

Сапаны жалпы ұйымдастыру стандарттары;

Процедуралар мен персоналды аттестаттауға арналған стандарттар;

Бұзбай бақылауға қатысты стандарттар.

14.2 Сапаны жалпы ұйымдастыру стандарттары

14.2.1 Презентация

Дәнекерлеу сапасына қойылатын талаптарды жалпы ұйымдастыру ең алдымен 1994 жылғы қарашада жарияланған NF EN 729 «Дәнекерлеу сапасына қойылатын талаптар – балқыту арқылы металл материалдарды дәнекерлеу» еуропалық стандартының төрт бөлімінің, сонымен қатар CEN (CR 13576) «Дәнекерлеу: Балқыту арқылы металл материалдарды дәнекерлеу үшін EN 729 сапасына қойылатын талаптарды қолдану» техникалық есебінің мақсаты болды.

Аталған еуропалық стандарт ISO 3834 стандартына сәйкес халықаралық деңгейде қабылданды және 2006 жылдың сәуірінде EN ISO 3834 «Металл материалдарды балқыту арқылы дәнекерлеу сапасына қойылатын талаптар» жариялануына септігін тигізген Вена келісімі шеңберінде орындалған ISO 9000 стандарттарының жаңа нұсқасымен толық келісуді қамтамасыз ету мақсатында қайта қаралды:

1-бөлім: Сапаға қойылатын талаптардың тиісті деңгейін таңдау өлшемдері.

2-бөлім: Сапаға қойылатын кешенді талаптар.

3-бөлім: Сапаға қойылатын стандартты талаптар

4-бөлім: Сапаға қойылатын элементарлы талаптар.

5-бөлім: Сапа талаптарына сәйкестендіруге арналған құжаттар ISO 3834-2, ISO 3834-3 немесе ISO 3834-4.

EN 729 жағдайындағы сияқты аталған бес бөлім ISO/TR 3834-6 «ISO 3834 енгізу бойынша басшылық» техникалық есебімен бірге жүреді.

14.2.2 Жұмыстың қағидалары

Дәнекерлеудің сапасына қатысты стандарттардың аталған сериясын талдау кілті ISO 3834-1 «Сапаға қойылатын талаптардың тиісті деңгейін таңдауға арналған өлшемдер» стандартын енгізу арқылы түсіндіріледі, мұнда келесідей белгіленген: *«Сапа талаптарының ерекшелігі дәнекерлеу үдерістері үшін маңызды, себебі бұл үдерістердің сапасы оңай тексерілуі мүмкін емес. ISO 9000: 2000 стандартында көрсетілгендей, олар арнайы процедуралар болып табылады. Сапа бұйымның ішінде тексерілуі мүмкін емес, ол жобалау кезінде қарастырылуы тиіс. Тіпті ең ауқымды және күрделі бұзбайтын сынаулар өнімнің сапасын жақсартпайды»*. Бұл талап тек дәнекерлеуге байланысты емес, есте сақтайтын пайдалы айқын сәттер де кездеседі.

Осыған байланысты ISO 3834 ұстаханада да, жұмыс алаңында да дәнекерлеуге қатысты сапаға қойылатын талаптар арқылы қатаң тізбектілікпен төмендетілетін 2, 3 және 4-бөлімдерді және талаптарды қысқаша салыстыруды пайдалану арқылы шарттық талаптарға сәйкес таңдау элементтері келтірілетін 1-бөлімді қамтиды. Аталған нұсқаулар төменде келтірілген 14.1-сурет бойынша ISO 3834-6 техникалық есебінде көрсетіледі.

3 және 4-бөлімдері «Сапаға қойылатын кешенді талаптар» 2-бөлімі бойынша шектеулерді ұсынады, біз тек нақты сәттерді белгілей отырып, соңғысын талдаумен ғана шектелеміз.

14.2.3 Талдау

ISO 3834 шолуынан тұратын тармақ стандарттың мақсаттарын келесі тәсілмен анықтайды:

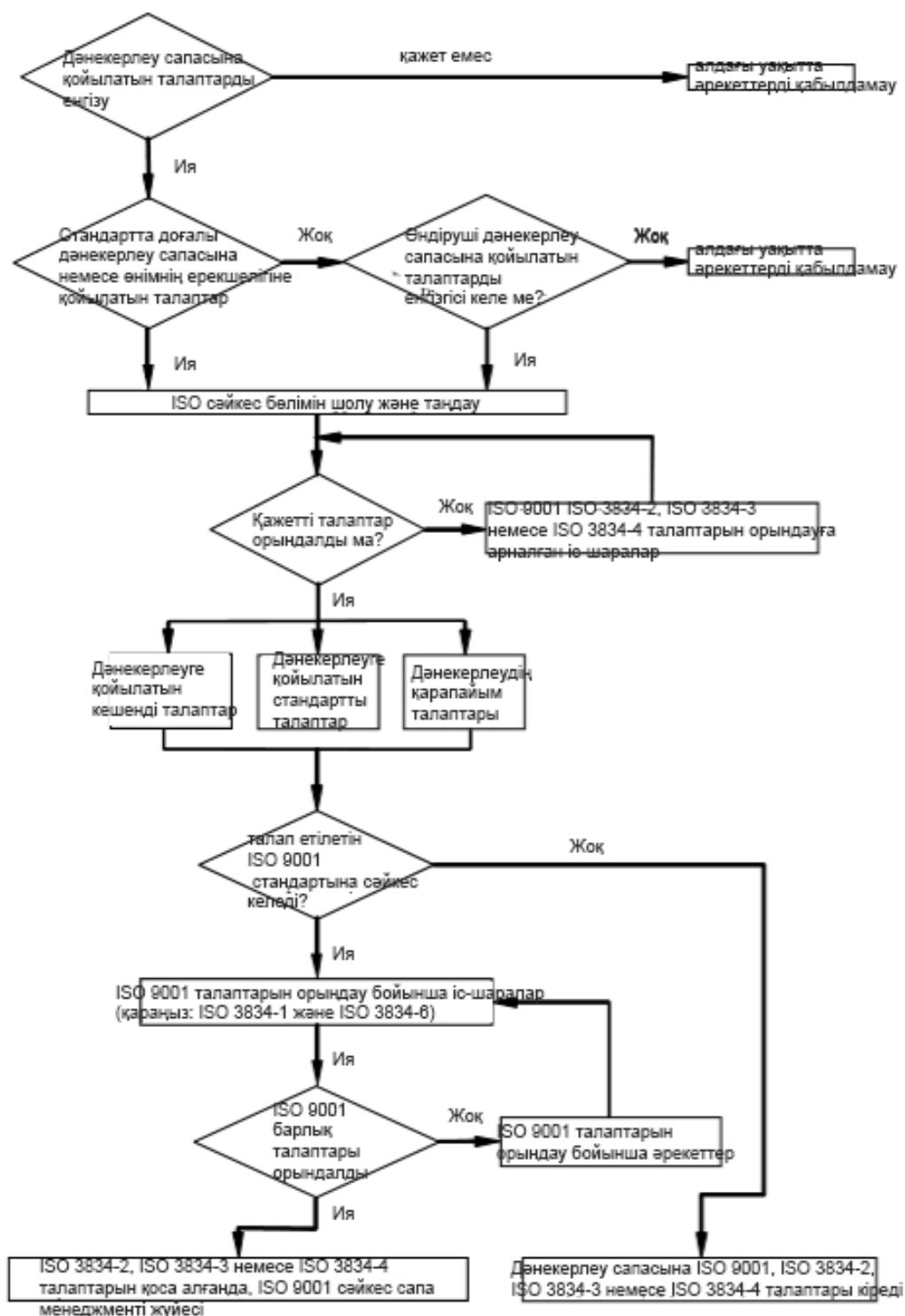
дайындалған құрылымның типіне тәуелсіз болу;

ұстаханаларда және/немесе объектіде дәнекерлеуге қатысты сапаға қойылатын талаптарды анықтау;

өндірушінің көрсетілген талаптарға жауап беретін құрылымдарды өндіру қабілетін сипаттайтын нұсқауды ұсыну;

өндірушінің дәнекерлеу қуатын бағалау үшін негізді қамтамасыз ету.

Бұл стандарт бірнеше мақсаттар үшін пайдаланылуы мүмкін. Оны Шартта анықтамалық материал ретінде де, дәнекерлеу сапасын ұйымдастыруға арналған құрал ретінде де пайдалануға болады, өйткені ISO 9000 талаптарынан алынған тармақтардың синопсисі оларды дәнекерлеудің нақты саласына қолдануды растайды:



Сурет 14.1. Дәнекерлеуге қойылатын талаптарды таңдау бойынша блок-сұлба

Келтірілген тармақтардың кейбіреулері дәстүрлі болғандықтан, түсініктемені қажет етпейді және дәнекерлеу жұмыстарын қолдану режимін анықтайтын техникалық элементтерді ғана қамтиды. Талаптар талдауына және техникалық шолуға (шартты қарауға), қосалқы мердігерге, жабдықтарға, дәнекерлеудің шығыс материалдарына, бастапқы материалдарды сақтауға, дәнекерлегеннен кейін термиялық өңдеуге, сәйкессіздіктер мен түзету әрекеттері - калибрлеу, сәйкестендіру және қадағалау, сонымен қатар сапа бойынша жазбалар үшін талаптар болып табылады.

Жабдықтар мен материалдардың техникалық деректеріне, ақаулар анықталған жағдайда қабылданған ережелерге, сондай-ақ қадағалауға қатысты барлық ақпаратқа жеткілікті құжаттаманы талап ететін процедуралардан тұратын барлық салаларда дәнекерлеу өнеркәсіптік жұмыстардан ерекшеленеді.

Үш тармақты әлдеқайда мұқият зерттеу қажет. Олар дәнекерлеудің өзіне және онымен байланысты әрекеттерге, дәнекерлеуге жауап беретін персоналға, сонымен қатар тексеру мен сынауларға байланысты. Осы үш салада сапаны қамтамасыз етудің жалпы қағидаларын қолдануға байланысты нақты техникалық талаптар күрделі архитектураны білдіретін белгілі бір стандарттардың бірқатар сілтемелерімен толықтырылады, оны толығырақ кеңейту орынды болып табылады.

14.2.3.1 Дәнекерлеу және басқа да жұмыс түрлері

Дәнекерлеу және онымен байланысты қызмет түрлері қызметтің барлық басқа түрлері сияқты сапаны бақылау қызметіне қолданылатын үдерістерге қатысты сілтемелерден тұратын операциялардың тізімі мен сәйкестендірілуін, тексерулер мен сынауларды қамтитын өндіріс бағдарламасы болуы тиіс. Бұл соңғы тармақ ерекше мәнге ие және ерекшеліктерге қатысты бірқатар стандарттардың және дәнекерлеу процедураларын аттестаттау объектісі болып табылады.

14.2.3.2 Дәнекерлеу мен тексеруге жауапты персонал

«Дәнекерлеу жауапты персонал» ұғымы дәстүрлі түрде қолмен дәнекерлеумен айналысатын дәнекерлеушілерге және автоматты және жартылай автоматты үдерістерді орындайтын операторларға қатысты. Осы санаттардың әрқайсысы үшін олар дәнекерлеушілерге қатысты EN 287 немесе операторларға қатысты EN 1418 стандарттар сериясында анықталған тиісті сынау арқылы аттестатталуы тиіс екендігі көрсетілген. Мұнда NF A 88-110 бұрынғы француз стандартында көрсетілген үш деңгеймен салыстырғанда бір ғана аттестаттау деңгейі пайдаланылады, бұдан басқа ешқандай жаңалық енгізілмеген. Осы ұстанымды негіздеу үшін ұсынылған дәлелдердің бірі-біліктілік сынақтары әдетте ең жақсы сапа деңгейін алуға мүмкіндік беретін оңтайлы жағдайларда өткізіледі; сонымен қатар басқа деңгейлер үшін біліктілік қажеттілігі мәселе болып қала береді.

Жоғарыда анықталған персонал санаттарына қосымша ISO 3834 2 бөлімінің 7.3 тармағы, ИСО 14731 «Дәнекерлеудегі үйлестіру - міндеттер мен тапсырмалар» стандартында техникалық білімнің үш деңгейіне сәйкес анықталатын «Дәнекерлеуді үйлестіру жөніндегі персонал» ұғымын енгізеді. Бұл функция жоғарыда аталған есепте (ISO/TR 3834-6) толығырақ әзірленді, өйткені ол қадамсыз және әр түрлі адамдармен орындалуы мүмкін: инженер-дәнекерлеуші, дәнекерлеу технологы, өндіріс басшысы, ұста және т.б. ISO стандартындағы EN 719 транскрипциясына қатысты тұжырымдама үшінші тараптың сертификатталуын білдіретін стандарттың бірдей еместігіне байланысты белгілі бір күрделілікке тап болды. Бұл дұрыс емес, сондықтан біз оқырмандарды барлық қажетті түсіндірмелерді қамтитын жоғарыда аталған есепке жүгінуін талап етеміз.

EN 473 «Бұзбай бақылау бойынша персоналдың біліктілігі және сертификаттау - жалпы қағидаттар» стандартына сәйкес бұзбай бақылауды жүргізуге жауапты персоналды сертификаттау - тағы бір мәселе болып табылады. Естеріңізге сала кетейік, бұл сертификаттау үш деңгейден тұрады және қолданылатын зерттеу техникасына сәйкес беріледі: ультрадыбыстық, рентгенографиялық, магниттік бөлшектер немесе өткір бояғыш әдісімен герметикалықты тексеру. COFREND Француз сертификаттау ұйымы, Бұзбай бақылау жөніндегі Француз конфедерациясы сияқты органдар үшін өзара растау туралы екі жақты келісімдер жасалды және еуропалық ұйым құрылды.

14.2.3.3 Тексеру, сараптама және сынау

Тексеруге, сараптамаға және сынауға қатысты сапасына қойылатын талаптар негізінен дәнекерлеу технологиясын тиімді пайдалануға байланысты. Дәнекерлеу алдында пайдаланылатын өнімдерді, бастапқы материалдарды және дәнекерлеу материалдарын анықтау, біліктіліктің дұрыстығын, қосылыстардың дайындығын және т.б. тексеру қажет. Дәнекерлеу кезінде дәнекерлеу параметрлері, температура және т.б. өте маңызды болып табылады; дәнекерлегеннен кейін өлшемдерді тексеріп, бұзбай бақылау жүргізу керек.

Соңғысына қатысты стандарттар сериясы маңызды мәнге ие болады, себебі оның құрылымы мұқият талдау мәні бола отырып, ерекше түсіндіруді қажет етеді.

14.3 Дәнекерлеу жұмыстарын аттестаттауға арналған стандарттар

Дәнекерлеу технологиясын аттестаттауға арналған стандарттар CEN/TC 121 жарияланған, әсіресе болат пен алюминий қорытпаларын қолмен доғалы дәнекерлеуге қатысты ең ескілері болып табылады. Оның төрт бөлімі EN 288 «Металл материалдарды дәнекерлеу процедураларының ерекшелігі және аттестациясы» стандарттар сериясының бастамасы болып табылды:

1-бөлім: Балқыту арқылы дәнекерлеуге арналған жалпы ережелер.

2-бөлім: Доғалық дәнекерлеуге арналған дәнекерлеу технологиясының ерекшелігі.

3-бөлім: Болаттарды доғалық дәнекерлеуге арналған дәнекерлеу жігінің орындалуын сынау.

4-бөлім: Алюминийді және оның қорытпаларын доғалық дәнекерлеуге арналған дәнекерленген жіктің орындалуын сынау.

Олардың жариялануы сол уақыттың тәжірибелерімен салыстырғанда түбегейлі қайта құруды талап етпеді; сонымен, 3-бөлім NFA 89-010 Француз стандартынан кейбір нақты сәттерді қоспағанда, мысалы, анықтылық өрістерін немесе таңбаның тәсілдерін анықтаудан басқа мүлдем айырмашылығы жоқ. Жалпы ереже «аттестаттау жоқ» немесе «сынау бойынша аттестаттау» арасындағы таңдау болып қалды.

Уақыт өте келе және стандарттау бойынша жұмыстардың дамуына байланысты аттестаттаудың жаңа әдістерін сипаттайтын қосымша бөлімдер пайда болды: сынауға ұшыраған шығыс материалдарын пайдалану, тәжірибеге сілтеме жасау, дәнекерлеудің стандартты процедурасына сілтеме жасау, өндіріске дейін нақты дәнекерлеу қосылыстарын орындау, т.б.; адал ниетке негізделген жалпы философия неғұрлым үнемді және техникалық қолайлы шешімді таңдауға мүмкіндік беретін бірқатар мүмкіндіктерді ұсыну болып табылады.

Бұл мәселелердің аспектісіне басқа дәнекерлеу үдерістеріне (газды дәнекерлеу, электронды-сәулелі дәнекерлеу, лазерлік дәнекерлеу, байланысты дәнекерлеу және т.б.), сонымен қатар басқа металдарға (болат немесе алюминий құймалар, никель, титан, цирконий, мыс және т.б.) стандарттарды қолдану туралы мәселе қосылды. Бұл айнымалылардың әрқайсысын болат немесе алюминий диодында доғалы дәнекерлеумен ұсынылатын әртүрлі мүмкіндіктерге қолдану, 50-ге жуық бөлшектерді қамтитын тек EN 288 ғана емес, сонымен қатар саны бойынша әр түрлі мүлдем тәуелсіз стандарттарға байланысты болу қажет. Бұл жағдайда пайдаланушы толығымен жоғалуы мүмкін.

Практикалық шешімді 14.1-кестеде белгіленген стандарттарды халықаралық деңгейде жариялауды көздеуге мүмкіндік берді, жалпы құрылымнан тұратын жүйені толық қайта өңдеуге әкеп соқтырды. Негізгі мақсаты - жалпы бөлімдерді кеңейту есебінен құжаттардың санын барынша қысқарту. Осыған қосымша барлық дәнекерлеу жұмыстары үшін жарамды металл материалдарды топтастыру жүйесін құру туралы техникалық есеп жасалды; оның практикалық

мақсаты - барлық біліктілік үшін ортақ шынайылық өрісін алу, мысалы, дәнекерлеушілер мен дәнекерлеу процедуралары арасында орын алған алшақтықтардан аулақ болу.

Үдеріс	Доғалық дәнекерлеу	Газды дәнекерлеу	Электрондық сәуле	Лазерлік дәнекерлеу	Кедергі арқылы дәнекерлеу	Қадаларды ерітіп жабыстыру	Үйкеу арқылы дәнекерлеу
Жалпы ережелер	EN ISO 15607						
Материалдар топтамасы	CR 15608					EN 14555	ISO 15620
Дәнекерлеу технологиясының ерекшелігі (WPS)	EN ISO 15609-1	EN ISO 15609-2	EN ISO 15609-3	EN ISO 15609-4	EN ISO 15609-5		
Сыналған дәнекерлеу материалы	EN ISO 15610						
Дәнекерлеудің бұрынғы тәжірибесі	EN ISO 15611						
Қалыпты дәнекерлеу жігінің технологиясы	EN ISO 15612						
Алдын ала дәнекерлеуге сынау	EN ISO 15613						
Дәнекерлеу жігінің орындалуына сынау	EN ISO 15614 - 1: Болат/Никель - 2: Al/Mg - 3: Құйылған болат - 4: Құйылған Al - 5: Ti/Zr - 6: Мыс - 7: Балқыма қаптама - 8: Түтіктің түтікпен қосылуы - 9: Доғалы су асты гипербарикалық ылғалды дәнекерлеу - 10: Құрғақ тәсілмен гипербарикалық дәнекерлеу		EN ISO 15614 - 11 Электрондық немесе лазерлік сәулемен дәнекерлеу		ENISO 15614 - 12 Кедергі арқылы дәнекерлеу		

Кесте 14.1. Дәнекерлеу технологиясын аттестаттауға қатысты стандарттарды ұйымдастыру

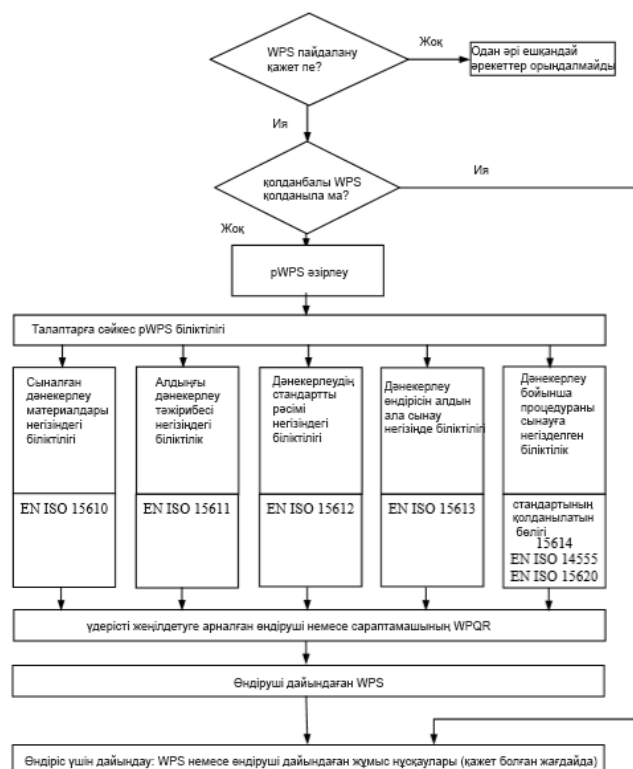
Жоғарыда келтірілген кестенің талдауы келесі мәліметтерді белгілейді:

- Барлық үдерістерге жалпы ережелер қолданылады,
- Қадаларды ерітіп жабыстыру мен үйкеу арқылы дәнекерлеу ғана жалпы сұлбаға сәйкес келмейді, бұл оның ерекшелігін ескереді,
- металл материалдарды топтастыру жүйесі барлық басқа үдерістер үшін жалпы қабылданады

- (доғалы дәнекерлеу, газды дәнекерлеу, электронды-сәулелі дәнекерлеу, лазерлік дәнекерлеу, байланысты дәнекерлеу),
- дәнекерлеудің бұрынғы тәжірибесіне сілтеме жасай отырып, арнайы дәнекерлеу қосылыстарын өндіріске дейін орындау және дәнекерлеудің стандартты процедурасын қабылдау жолымен сыналған дәнекерлеу материалдарын пайдалану бойынша аттестаттау тәсілдері осы үдерістер үшін ортақ болып табылады. Бұл процедураның аталған түрін қолдануға болады дегенді білдіреді,
 - дәнекерленген жіктің орындалуын сынауға қатысты доғалық дәнекерлеуді және газды дәнекерлеуді қамтитын қайта топтау жүргізілді, ол бір жағынан электронды сәулелік, екінші жағынан лазерлік дәнекерлеуді қамтиды. Бұл сынаудың бірдей түрлері бірдей әдістерге сәйкес пайдаланылады және түсіндіріледі,
 - алайда, әрбір үдеріс үшін дәнекерлеу процедурасының (WPS) ерекшелігіне қатысты талаптар қалыпты болуы мүмкін.

Осындай ұмтылыстарға қарамастан, соңғы нәтижеге қол жеткізу және пайдалану өте қиын болып көрінеді. Дәнекерлеу процедуралары үшін сипаттамаларды анықтаудың түрлі әдістерін қолданудың әлеуетті салаларына, сондай-ақ олардың шектеріне қатысты нақты толығырақ ұсынылған жағдайда оны практикада пайдалану міндетті емес.

Сыналған дәнекерлеу материалдарына негізделген процедураларды аттестаттауға қатысты мәселелер туындайды. Қазіргі таңда дәнекерлеу шығыс материалдарды бекіту әдістері «Құрылыс өнімі бойынша Еуропалық директиваға» сәйкес әзірленген EN 13479 «Дәнекерлеу шығыс материалдары: металл материалдарды балқытумен дәнекерлеуге арналған тұнба металдар мен флюстерге арналған жалпы стандарт» еуропалық стандартпен қамтылады. Сонымен бірге бұл әдістер тапсырушы мен жеткізуші арасында келісілуі тиіс.



Сурет 14.2. Дәнекерлеу үдерісін аттестаттау үдерісінің технологиялық сұлбасы

Әрбір тарапқа – тұтынушы мен жеткізушіге -бұл жаңалықты беретін бірқатар шешімдер мен артықшылықтарды (өндірістік тәжірибені есепке алатын), содан кейін фактілердің толық көрінісінен ең қолайлы шешімді таңдау үшін біраз уақыт қажет.

Жалпы ережелерден тұратын EN ISO 15607 стандарты дәл қажетті деректерге қатысты

қосымшалардан тұрады. Ол процедураның барысын тең дәрежеде сипаттайды, 14.2-суретте келтірілген диаграмманы пайдалана отырып, тиісті сұрақтарды қоюға мүмкіндік береді.

14.4 Бұзбай бақылаудың стандарттары

Белгілі бір сапа деңгейін қамтамасыз ету үшін жеткіліксіз болса да, сапаны қамтамасыз ету жөніндегі ұйымның соңғы аспектісі болып табылатын бұзбай бақылау дәнекерленген конструкцияны немесе құрылғыны қабылдауға арналған айқындаушы фактор болып табылады. Соңғы бірнеше жылда ол жалпы тұжырымдамасы айтарлықтай өзгерген стандарттау жөніндегі жұмыстардың елеулі көлемінің объектісіне айналды.

Балқыту арқылы дәнекерлеу сапасына қойылатын талаптарға қатысты стандарттар (EN ISO 3834 сериясы) EN немесе ISO қолданылатын стандарттарына сілтемелерді ғана қамтиды. Осылайша, олардың дамуын анықтайтын қағидаттарды дамыту ыңғайлы.

Ең алдымен ағымдағы тәжірибені атап өтейік. Мысалы, болат конструкциясы үшін NF P 22-471 «Металл құрылымы: дәнекерлеу қосылыстарын орындау» француз стандарты дәнекерленген тігістерде кездесетін ақаулардың үш класын сипаттайды және анықтайды. Сонымен бірге онда бұзылмайтын бақылау шектері көрсетілген: 40 мм-ге дейін рентгенография үшін, 20 мм-ден бастап ультрадыбыстық зерттеу үшін. Ақырында, ол әрбір әдіс үшін индикация деңгейлері тұрғысынан, талап етілетін сапа деңгейіне сәйкес жол берілетін ақаулар ұсынады.

Бұл презентация даусыз артықшылықты ұсынады және тек бір құжатта пайдаланушыға қажетті барлық ақпаратты жинайды. Екінші жағынан, оның кейбір кемшіліктері бар:

- ақаулардың кластары қолдануға байланысты (болат конструкциясы, қысымдағы түтікшелер және т.б.) әртүрлі болуы мүмкін, ал дайындау технологиясы ұқсас,
- әртүрлі әдістердің пайдалану шектері тіркелген болып табылады (егер стандарт қайта қарастырылмаса), ал іс жүзінде прогресске қол жеткізілген жағдайда түрлі факторлар нақты әдіске байланысты,
- қолдану көрсеткіштерін түсіндіру тәсілдері күрделі болуына қарамастан дамиды.

Егер көптеген жылдар бойы сәйкес немесе ұқсас ерекшеліктерді (қысымдағы түтікшелерге арналған CODAP, металл конструкциялардың стандарттары және т.б.) қамтитын кейбір нұсқаулықтар қатар жүрсе, тәжірибе ұлттық деңгейде шешілуі мүмкін. Еуропалық деңгейде оның пайдасы аз, өйткені мақсаты - алмасу үшін техникалық-экономикалық кедергілерді жою арқылы тауарлар мен адамдардың еркін қозғалуы болып табылады.

Бұл техникалық ерекшеліктерді үйлестіру арқылы және қолданылу саласына тәуелсіз «көлденең» тәсілмен дәнекерлеуге қатысты мынадай түрде жүргізіледі:

- ақау кластарын сипаттау және анықтау үшін бірыңғай есептеу жүйесін әзірлеу,
- әрбір әдіс үшін орындау режимдерін, сондай-ақ олардың әрекет ету шектерін анықтау, сондай-ақ нұсқаудың маңыздылығын көрсету,
- ақаулардың базалық класына сілтеме жасайтын әрбір әдіс үшін индикация деңгейлерін түсіндіру.

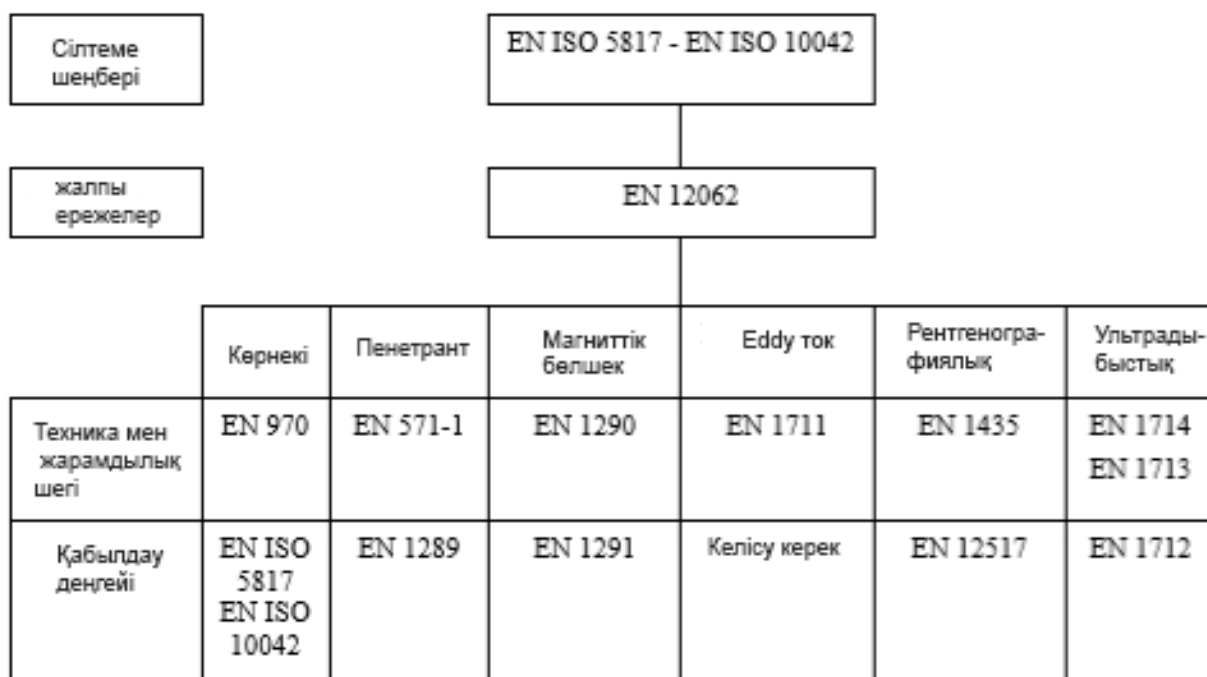
Мұндай құрылым пайдаланушылардың, атап айтқанда, Еуропалық стандарттарын әзірлеуге жауап беретін техникалық комитет мүшелерінің иелігіне құралды ұсынады (CEN/TC 54 қысымдағы түтікшелер үшін, CEN/TC 135 Болат конструкциялар үшін).

Стандарттау бойынша барлық жұмыстар EN ISO 5817 «Дәнекерлеу: Болатта, никельде, титанда және олардың қорытпаларында балқытумен дәнекерленген қосылыстар - ақауларға арналған сапа деңгейлері» стандартында бақыланады, ол кему тәртібінде ақаулардың үш класының маңыздылығын сипаттайды және анықтайды: B, C және D. Ол бұзбай бақылау жөніндегі мамандар мен соңғы пайдаланушылар сілтеме жасай алатын есептеу жүйесі болып табылады, әрбір жағдайға бейімделген сапа деңгейі қосымша

стандартында немесе өндірушімен, пайдаланушымен және/немесе басқа да мүдделі тараптармен байланыс жасау мақсатында жауапты әзірлеушімен анықталады. Алюминий қорытпасынан құрастыру үшін балама стандарт қолданылады, EN ISO 10042.

Сонымен, EN 12062 «Дәнекерленген жіктердің бұзбайтын дефектоскопиясы: металл материалдарға арналған жалпы ережелер» стандартын қарастырайық. Бірінші бетте ұсынылған талдау бұл стандарт *«дәнекерленген жіктерді тексеру және сапаны бақылау үшін нәтижелерді бағалау үшін сынаудың бұзбайтын әдістерін таңдау бойынша нұсқаулар береді. Сонымен қатар әдістеме үшін және металл материалдардың қабылдау деңгейлері үшін сараптаманың әртүрлі түрлеріне қолданылатын жалпы ережелер мен стандарттар көрсетіледі»*. «Қабылдау деңгейлері» терминін пайдалану сәтсіз деп санауға болады, себебі ол екі тұжырымдаманы: жіктелуді және сапалы бағалау тұжырымдамасын араластыра отырып, белгілі бір мәнді білдіреді, әрі екінші мәселе даудың мәні болып табылады, өйткені қабылдау өлшемдері барлық қолдану салалары үшін біркелкі болмауы мүмкін және пайдаланушылардың міндеті болуы тиіс; шын мәнінде, бұл ISO 5817 стандартында анықталған кластар үшін қолданылатын әдіс бойынша терминдердегі нұсқауларды «ауыстыруды» білдіреді: мұны беріліс функциясы әдісі деп атауға болады. Содан кейін әдіске және оның қолданылу шегіне, сонымен қатар әрбір әдіс үшін тән стандарттардағы «қабылдау деңгейлеріне» қатысты толығырақ келтіріледі.

Осылайша, зерттеудің алты түрлі әдістері қарастырылады: визуалды, өткізгіш, магниттік бөлшектер, құйынды, радиографиялық және ультрадыбыстық. Жүйенің құрылымын 14.3-суретте көрсетуге болады.



Сурет 14.3. НПК стандарттарының құрылымы

Дәнекерлеу процедурасын аттестациялауға қатысты стандарттарға келетін болсақ, құрылғы күрделі болып көрінуі мүмкін, бірақ ол шынайылыққа сәйкес келетін белгілі бір логикаға жауап береді.

Жобаға немесе құрылысқа жауапты жобалаушы немесе дайындаушы оны салу кезінде рұқсат етілетін сипаты мен ақаулар мөлшерін білуі тиіс және жалпы алғанда, бұзбай бақылау әдістерін алдын ала болжай алмайды. Ұсынылған жүйеде оның жалғыз міндеті - негізгі есептеу жүйесіне сілтеме жасай отырып, ақаулардың рұқсат етілген класын таңдау болады, EN ISO

5817 немесе ISO 10042.

Сонымен бірге ақаулардың кластарына және өндірілетін конструкциялардың немесе жабдықтардың сипатына қатысты стандарттардың тәуелсіздігі олардың негізгі есептеу жүйесіне немесе процедуралық стандарттарға әсер етпей, әдістердегі үдеріске сәйкес дамуына мүмкіндік береді. Осылайша, бізде дәйекті және прогрессивті жүйе бар.

Алайда, бұл сала әлі де белгілі бір бейімделу кезеңін талап етеді. Әрине, кодекстерде немесе арнайы стандарттарда байқалғандай, әр түрлі құжаттардағы тармақтардың шашырауы және соңғы жалпы көріністің жоғалуы өкініш туғызады. Іс жүргізу нормаларына жауап беретін еуропалық техникалық комитеттердің міндеті - тұжырымдаманың осы толық тобын назарға алу және мүмкіндігінше оларды қолдануға пайдаланушыны жіберу болып табылады.

14.5 Қорытынды

Стандарттар, әсіресе техникалық және ұйымдастырушылық тұрғыдан күрделі тақырыптарды қамтитын құжаттамаларды ұсыну және талдау әрдайым жеңіл бола бермейді. Жағдайдың үнемі дамуы оны күрделендіре түседі. Еуропалық деңгейде әзірленген көптеген стандарттар техникалық өзгерістермен, сондай-ақ презентациядағы өзгерістер арқылы халықаралық деңгейде қайта қабылданды. Басқалары жақын болашақта оны мысалға алады және бұл әр минут сайын назарды талап етеді.

Дәнекерлеу бірнеше қолданулардан тұратын көлденең техника болып табылады, мұнда үдерістер мен әдістер еңсерілмейтін дамуда күрделі болып келеді, нәтижесінде, халықаралық бәсекелестік анықтамалық мәтіндер болған кезде ғана қалыпты түрде өтуі мүмкін және шарттар үшін негіз ретінде пайдаланылады.

Осыған байланысты дәнекерлеу құрылысына қатысатын өнеркәсіпшілер мүдделі тұтынушылармен және серіктестермен ынтымақтастықта стандарттау жөніндегі комитеттердің көмегімен оларға экономика және сапа деңгейі тұрғысынан қанағаттанарлық нәтижелерге қол жеткізуге мүмкіндік беретін құрылғылармен жарақтандырылады. Кейбіреулер үшін бұл тәжірибені, тіпті мәдениетті өзгертуді білдіреді, бірақ ұзақ мерзімді перспективада бұл барлығына дерлік пайда әкелуі мүмкін.

Régis BLONDEAU
Ecole nationale supérieure des mines de
Saint-Etienne
Франция

Christian BONNET Air Liquide/CTAS Saint-
Ouen-l'Aumône
Франция

Jean-Henri BERGEOT
CTICM
St-Rémy-lès-Chevreuse
Франция

Marc BOUSSEAU
DCN-Indret Nantes
Франция

Abdelkrim CHEHAÏBOU Institut de soudure
Metz
Франция

Joël CLAEYS Arcelor Mittal Dunkirk
Франция

Michel COURBIÈRE Pechiney Alcan Voreppe
Франция

Yves DESALOS
Renault Guyancourt
Франция

Olivier DIERAERT Arcelor Mittal Dunkirk
Франция

Léon DUNAND-ROUX
Areva NP
Chalon-sur-Saône
Франция

François FAURE Areva NP

Paris Франция

Jean-Paul GOURMELON Honorary "Ponts et
chaussées" civil engineer general
Nantes
Франция

Jean-Claude GOUSSAIN Institut de soudure
Metz
Франция

Dominique KAPLAN Arcelor Mittal
Париж
Франция

Henri-Paul LIEURADE
CETIM
Senlis Франция

Guy MURRY
Ingénieur conseil Clermont-Ferrand
Франция

Jean-Louis MOIRON Ugine SA
Gueugnon
Франция

Jean-Pierre PESCATORE
CTICM
St-Rémy-lès-Chevreuse
Франция

Gérard PRADERE Renault Guyancourt
Франция

Gilles RIGAUT Arcelor Mittal Dunkirk
Франция

Pascal VERRIER Arcelor Mittal Dunkirk
Франция

Алфавиттік көрсеткіш

ЕС ИСО, 474-475, 478, 481, 483-486

Mn-Ni-Mo, 377

Т-тәрізді тігістер, 211

А

Автоматтты дәнекерлеу, 221

ажырату жолымен, 291

Азот тотығы, 201

азоттар, 3-4, 20, 51, 138, 147-148, 164, 166, 181, 183, 190-193, 380, 402-405, 410-412, 417, 422-427

айналмалы дәнекерлеу, 293, 305

айналмалы тасымалдау, 187

ақаулар, 260, 371, 470

Алдын ала жару, 259

алдын ала жылыту, 115, 135, 143, 160-161, 172, 437, 455-456, 464

алты валентті, 199, 200

алтын, 50

алюминий, 7, 22, 28, 50, 67, 139, 146, 164-166, 367, 402, 433, 454, 479-480, 485

аргон, 7-8, 10, 17, 20, 51, 181-185, 189, 201, 422, 441

аса берік, 119

астықты ұсақтау, 104

атмосфера, 3-7, 19, 28

аустенит, 103, 111, 138-139, 142-148, 153-154, 260, 270, 399

аустениттік тот баспайтын, 52, 93, 265, 340, 379-382, 390, 393

Аустенитті-ферритті тот баспайтын, 66, 380, 393

Ацетилен, 6-7

Ә

әскери кеме құру, 261

Б

байланыс кедергісі, 447

байланыстырушы элемент, 16, 169, 175, 178

Балқу аймағы, 255, 264, 297, 318, 438, 442, 466

Балқытумен түйіскен дәнекерлеу, 27, 448

балқытылған білікшелерді тазалау, 456

балқытылған металдың суландыру қабілеті, 318

балқытылған металл, 461

балқытылған флюс, 175

Баттель бойынша, 241

бейнелеу қабілеті, 471

бейнит, 108

белсенді газ, 17, 19, 308, 443

бериллий, 471

Беріктігі жоғары электрод, 257, 264

бетін жабу, 126, 393

бетті дайындау, 455

білікшені қолдану тәртібі-, 462

Білікшенің қаттылығының асытнда, 311

бір өлшемді жылу ағыны, 96

біртекті емес дәнекерлеу жігі, 466

Бойлық бүрку, 184-188, 193-194, 202

Болат табақтарды еріту, 117, 319, 371

Болдыаустениттік, 397-398

бор, 123, 139, 148, 150, 153, 156

Бортитандық әсері, 194

бұзумен, 79

бұзусыз, 78, 374, 484

Быстрама кестесі, 407, 428

В

ванадий, 109, 123, 139, 147-148, 152, 168, 171

вольфрам инертті газ атмосферасында, 19-20, 99, 138-139, 165, 181-183, 199-201, 221, 306, 323, 364, 390-394, 413, 427, 437, 441-443, 456, 464

Г

газовольфрамды доғалы дәнекерлеу, ГВДС, 32

гелий, 33, 181-183, 201, 441, 443

гелий, 395

Геометриялық кернеу, 232, 234

Д

Делонга, 402-405, 407

демалыс, 125

деформациялар, 457, 459, 467

дәл емес түйісу, 241, 263

Дәнекерлегеннен кейін термоөңдеумен жіберу, 435

дәнекерлемеген, 78, 468

дәнекерленген тігістердегі жарықшақтың пайда болу тәуекелдері, 253

Дәнекерленген тігістің қабыршақтары, 77
дәнекерлеу беріктігі, 75, 104, 120

дәнекерлеу ваннасының тірегі, 467

Дәнекерлеу жұмыстары саласындағы зерттеулер жөніндегі кеңес 1992 ж.. (WRC92), 405

дәнекерлеу жылдамдығы, 61, 318, 444, 446

дәнекерлеу кернеуі, 444, 446

дәнекерлеу сым, негізгі, 269

Дәнекерлеу түтін, 197-204, 471

Дәнекерлеу шламдары, 366-367

дәнекерлеу энергиясы -, 98, 196, 201, 435

Джоуль Әсері, 18, 21-24, 287

Диффузды дәнекерлеу, 27, 342

доғаның биіктігі 444, 446

доғаның жану тұрақтылығы, 176-177, 184, 193, 201, 257, 260, 263, 265, 267

Е

екі фазалы, 119, 289-290

екпінді соққы иілу, 246

ену, 439, 467

ерігіштік туындысы, 104, 122

ерікті, 12, 389

Ж

жабыны бар болат дәнекерлеу, 302

жабыны бар жұқа болатты дәнекерлеу, 309

жабыны бар жұқа жапырақты болат, 280

жабыны бар, 14-15, 138, 149, 169, 173-174, 179, 192-193, 197, 204-205, 387-393, 417, 426

жазық жылу ағыны, 96, 98

жаншу арқылы нүктелі дәнекерлеу, 292

жару, 140, 149-162, 167, 172-173, 183, 318, 319, 369, 389

Жарық беретін ығысу, 250

Жарық тұзу механикасы, 240, 258, 262

жарықтар пайда болудың өлшемшарттары 245, 249

Жарықтың шыңын ашу, 251

Жарылыспен дәнекерлеу, 29, 453

Желілік электр энергиясы, 98

жеткіліксіз қалыңдығы, 78

Жиегін позициялау, 460

жоғары беріктігі төмен легирленген , 119

жоғары төзімді, 223, 267

жоғары тығыздықты энергетикалық дәнекерлеу процестері, 31

жоғарылауы, 267

жүктеу жылдамдығы, 242, 247

жұмсақ, 223

жұмсарту, 464

жылу ағыны

жылу бөлу, 92, 98

Жылу кестесі, 321

жылу өткізгіштігі, 90

жылу теңдеуі, 90

жылу шығару қабілеті , 92

жылыту жылдамдығы, 93

З

зет-болат , 118

зиянды әсер ету, 197

И

изотерма, 92

Иілу жинағы, 225

иілу, 75

икемділік шегі, 261

икемділік, 104, 363, 369, 372, 380-381, 417-420

икемділік, 239

импульстік генерация режимі, 188

импульстік ток, 443

инертті газ , 17, 19, 323, 436-

инициация, 444

интегралдар, 249

Инфрақызыл термография, 48

иондау, 441

I

Із элементтері, 267

ілінісу, 119

К

калий, 170, 176, 179, 198

кальций, 118

карбонаттар, 176, 179, 194

карбонитридтер, 109, 147-148

Кейінгі термоөңдеу 115, 125, 159, 172, 318, 322, 373, 380, 387, 393, 413, 417-418, 195, 270, 318, 322, 363, 365, 373,380,387, 393, 413, 417-418, 425, 435, 444

кеме «Либерти» типті, 257

кемелер, 241

кеңейту, 458, 462

кептіру, 455

керамикалық флюс, 16

Кері босату сынғыштық, 125

кернеу коэффициентінің шамасы,226

кернеуді алу, 161,435

кернеуірұқсат етілген, 466

кернеулердің үш осьтік, 119

Кесілген тігістер, 78

кеуектілік, 3-4, 28, 149, 162-165, 219, 318, 322, 331, 371, 433, 446

коаксиалды, 51

контактілі дәнекерлеу, 23-26, 428,453, 456,480-482

кор концентрация коэффициенті кернеу, 245, 247, 259

коррозиялық, 123, 239

коррозиясы, 76, 379-382, 388, 426, 429-431, 440

көлемді, 98

Көлемі бойынша жылу шығармашылық, 90

Көміртегі баламасы, 109, 116, 317

көміртегі диоксиді, 10, 35, 181, 185-186,189, 203-204

көміртегі, 153, 160, 165, 315, 321, 377, 380,389, 408-420, 425

Көміртегі-марганец, 115, 375, 377

Көміртек негізінде, 328

көміртекті темір103,109

Көпбейінді дәнекерлеу, 111, 139

көпірлер, 359-362

Крест қосылыстары, 210

кристалдану, 381, 420-421,461

кристалдылық, 242

Кристалл аралық преципитаттар, 126

күкірт, 62, 105, 153, 157, 267, 377, 421

күміс, 50

Қ

қабатаралық температура, 270, 464

қайта аустениттелген аймақтар, 147-148

Қайта қыздыру, 148, 319

қалдық кернеу,

қалдық кернеу, 120, 123, 161-162, 220, 226,241, 262, 270, 272, 319, 459-460

Қалпына келтіру элементтері, 171, 176

қалыңдық шегі, 97

қаптау, 387-389

катаю, 134, 143, 146, 148, 159,161, 166, 194

қатты бөлшектердің үлестік шығынымен дәнекерлеу, 221

қатты ерітінді, 133, 135,145-147

Қатты зат, 92

қатты қорытпалар, 105, 111

Қатты пластикалық сынық, 259

қаттылық өлшемі, 108

қаттылық, 119, 248, 258, 362, 372

қаттылыққа 76

қатып қалған құрылым ретінде, 138-142, 146-148

қиғаштаумен нығайту,434

қож, 15, 18-19, 22, 169-171, 176-177, 179, 194

қорғағыш газдардағы доғалық дәнекерлеу , 33, 184-185, 190, 201

қорғау газы, 50, 181, 183, 185, 188-191, 200-204, 413, 422, 426

қорытпалық элементтер, 143, 145

Қорытпау , 77, 468

қоспалар, 151, 153, 161, 267

қоспаларды сегрегациялау, 126

қосу, 3-4, 138, 142-148, 166, 171, 178, 189, 194, 220, 318

Құммен тазалау, 3

Құрылымдық беріктендіру, 434, 441

құрылыс, 257

қызудан, 458

қысқа тұйықталу, 170, 184-188

қысу, 453

қысу, 459

Қысым астындағы ыдыстар, 240, 244, 247, 260

қытырлық, 124

Л

лазерлік дәнекерлеу, 31, 90, 95, 99, 104, 119, 253, 263-264, 296, 301, 329, 333, 452

Лазерлік сәулелену көздері, 34

латеральды, 51

литий, 170, 176, 179, 198-199

М

магний, 188, 436, 451

магнит өрісі, 11

магнитодинамикалық әсері, 10

магнитті индукциялық дәнекерлеу, 454

майсыздандыру, 455-456

Макрогеометриялық әсер, 215, 217

максималды температура, 95

марганец, 138, 148, 180, 188-189, 194

Марганец-көміртек, 95

марганец-молибден, 377

мартенсит, 108, 270, 400

мартенситті, 280

Металды тасымалдау, 170, 184-187, 201-203

металл жабыны бар табақтар, 285

металл қылқаламмен тазалау, 456

Металлургиялық трансформация, 95, 271

механикаландырылған дәнекерлеу, 227

механикалық қасиеттері, 396, 440

механикалық сипаттамалары, 76

микроқұрылым, 104, 140-141, 145, 156-157, 167

Микроскопиялық / микросызу, 381, 435

молибден, 133, 148, 152, 195, 411, 421, 423, 430

мұздату, 467

мырыш, 188, 451

мырышталған, 280

мыс, 43, 50, 377

Н

натрий, 170, 176, 179, 198

Негізгі металдан кем берік жетіспеушілік, 257, 265

неонды, 33

Нәзік арттыру, 411

никель, 40, 123, 183, 194, 265, 380, 382, 388, 402, 418, 426, 430

ниобий, 123, 139, 147, 148, 168, 171, 322, 410-411, 419

нитридтер, 4, 105, 147-148, 152, 315

Номиналды кернеу, 212, 228, 231

Нөлдік пластикалық айналдыру (NDT), 244

нүктелі дәнекерлеу, 24-25, 90, 281

О

озон, 199-201, 471

оксидтер, 105, 454

органикалық жабыны бар парақтар, 288

оттегі, 3, 6-7, 10, 17, 138, 142, 146-147, 164-165, 171, 176-178, 417

Ө

Өлшемдерді есептеу, 464

өсіру, 136-137, 148, 153-154, 195-197, 436
Өтпелі балқыту, 40, 48, 451, 453
өту жолдары арасындағы температура, 435
термиялық

П

Пеллини бойынша, 241
перлит, 103
плазма, 4-9, 14, 32, 48, 181-183, 201, 297, 306

пластикалық күйден нәзік күйге ауысу температурасы, 240- 241, 257, 266

Пластикалық тұрақсыздық, 253

пропан, 6

Пуассон коэффициенті, 250

Р

радиография, 374, 395, 484

рельефтер, 78, 184, 197, 199-203

ролдік профилі-білікше профилі, 215, 441, 469

рутил элементтері, 171, 193, 204

рутилдік, 14-15, 170-171, 193-194, 197-198

С

салқындату жылдамдығы, 135, 139, 143,

салқындату параметрі, 95, 97, 98

сенімділік коэффициенті, 207

Серпімділік шегі, 207, 223, 226, 250

сәйкессіздік, 218

сигма-фаза, 407, 411, 421

силикаттар, 171, 176, 192-193

силикон, 3, 16, 268, 436

сілтілік көрсеткіші, 177

созылу, 75

Соққы күші, 137-140, 142, 146-150, 166, 171, 178

соққы, 75

соқырлық, 471

сопла, 6-9, 15

стандарттарЕС, 474, 478-486

Статикалық кедергі, 213

Статикалық кернеу, 207

су / ауа өткізбейтін, 76

суға батырылған, 324

сульфидтер, 105

сутегі, 4, 6-10, 14, 16, 20, 65-66, 110, 113-114, 125, 157-161, 164-167, 170-183, 192-193, 196, 201, 205, 222, 321, 433, 454

Сутегінің сынғыштығын арттыру, 239

суық, 77, 112-113, 124, 149, 363, 371-373, 387, 389, 393, 408, 410, 413, 417-418

Сызықты бұзылу механикасы, 262

сым жылдамдығы, 444, 446

сынақ

сынғыш қытырлақ, 239

сынғыштықты арттырудың ошақты аймақтары, 270

Сыншылдықтың қайтымды

Т

Табиғи қатаю жағдайы, 440

тасымалдау, 441

термиялық дәнекерлеу, 90, 367

термиялық әсер ету аймағы (HAZ), 6, 22, 61, 90, 102-103, 244, 255, 296, 318, 372, 381, 417, 420-421, 425, 434, 451, 453-466

термиялық циклдер / циклдер, 95, 135-136, 138, 143-144, 148, 155, 172, 194-197

термодиффузия, 90

термокинетикалық диаграммалар, 107

тиімділік коэффициенті, 98

титан, 32, 52, 72, 106, 139, 142, 148, 165, 171, 194, 265, 322, 410, 419, 478, 483

тігісті бақылау, 48

тозуға төзімділігі, 314

тойтарма, 453

толтырғыш материал, 136-138, 142, 149, 158-159, 170-180, 183-184, 188-194, 197, 204

толтырғыш металл, 138, 165, 222

толтырғыш сым, 61, 412-413, 422, 426

Толтырылған рутил сым, 148, 191-194, 204

Толық балқытылмаған бұрыштық тігістер, 466

тот баспайтын мартенсит, 65, 414
тот баспайтын, 7,322
Тотығу қабілеті, 188-189, 201
Төменгі ойық, 242
түйіршіктелген -, 175-179
түйістіріп дәнекерленген болат
конструкциясы, 224
түйістіріп дәнекерлеу, 26, 209, 298, 442,448,
451,462, 467, 469
Түйісу бұрыштары, 469
тұндыру, 104

У-Ұ

Ультрадыбыстық дәнекерлеу, 29, 387, 454
үйкеліспен дәнекерлеу, 27-29, 321, 334,
344,449
ұнтақталған, 15
Ұсталық дәнекерлеу, 29

Ф

феррит, 109, 133, 135, 142-148, 153-
154,166, 194, 399

Ферритті тот баспайтын болаттар, 64
ферритты, 260
Флюс астындағы доға, 139-140
флюс, 7, 15-21
фосфор, 62, 153, 267, 377, 421

фрикциялық беттердің трибологиясы, 314
Функционалдық дәнекерлеу, 440

Х

Халықаралық Дәнекерлеу Институты, ХДИ -
МИС (IIW), 213, 263, 273
хром, 381, 418, 421
Хром-молибдендер Cr-Mo, 267

Ц

целлюлоза жабыны бар, 14-15
церия, 118
цирконий, 20, 32, 52, 59, 61, 73, 480

Ш

шарлау, 184-188, 193, 204
шарлы тасымалдау, 309
Шарпи бойынша, 241, 362
шаршау беріктігі, 76

шаршау бойынша жүктеме режимі, 314

шаршау дәрежесін есептеу, 467
шаршау қисығы S-N, 230-236
шаршау сынығы, 208
шаршау ұзақ мерзімділік, 236
шаршау шегі, 207
шаршау, 239, 372-373,468
Шнадт бойынша, 241
шоғырлануы, 215, 241
шөгінділер дәнекерлеу, 292, 448
шөгу, 322, 444, 451, 461-462, 468

шыңдалғаннан кейінгі қартаю, 268

Шэффлер/Бистрама, 409-410, 414-419, 423
Шэффлера, 402-407, 425

Ы

ықшам созылу үлгісі (ЫС), 246

ылғалдылығы, 172-176, 179, 191, 196

ыстық, 62-63, 76, 149, 319, 382, 388,408,
418-422, 444, 447, 451

Э-Я

Эвтектикалық білім беру, 103
электр дәнекерлеу кедергісі, 447
электр қожды, 21, 104
электр өткізгіштігі, 93
электродоғаның дәнекерлеуі, 4-21, 306,
318, 389, 441
электродтарнегізгі жабыны бар, 14-15, 171,
173-174, 199, 222

Электролиттік мырыш жабыны, 279

Электрондық сәуле дәнекерлеу, 31-32, 53,
60,119, 253, 264, 271, 329, 451, 456
Эспи, 402-403, 405-407, 428
ядроның диаметрі, 282