

**ТОТ БАСПАЙТЫН
БОЛАТ ПЕН ЫСТЫҚҚА
ТӨЗІМДІ
ҚОРЫТПАЛАРДЫ ӨНДЕУ
ДӘСТҮРЛІ ЖӘНЕ ДӘСТҮРЛІ ЕМЕС
ТӘСІЛДЕР**

Хельми А. Юсеф
Александрия университеті, Египет

WILEY

Бұл басылым алғаш рет басылды 2016 © 2016 JohnWiley&Sons, Ltd.

Тіркелген кеңсесі

JohnWiley&Sons, Ltd, Атриум, Онтүстік қақпалар, Чичестер, Батыс Суссекс, PO19 8SQ, Ұлыбритания

Біздің жаһандық редакцияларымыз туралы толық ақпарат алу, клиенттерге қызмет көрсету және осы кітаптағы авторлық материалдарды қайта қолдануға рұқсат алу үшін өтінішті қалай беру керектігі жөнінде ақпарат алу үшін біздің сайтымызды қараңыз www.wiley.com.

Автордың осы туындының авторы ретінде көрсетілу құқығы 1988 жылғы Авторлық құқық, үлгілер мен патенттер туралы Заңға сәйкес расталды.

Барлық құқықтар қорғалған. Бұл жарияланымның ешқандай да бөлімі іздеу жүйесінде көрсетіліп, сақталуына немесе баспагердің алдын ала рұқсатынсыз 1988 жылғы Авторлық құқық, үлгілер мен патенттер туралы Заңмен рұқсат етілген жағдайлардан басқа жағдайларда кез келген формада немесе электронды, механикалық, фото көшірме, жазба немесе басқа кез келген тәсілмен берілуіне болмайды.

Wiley сондай-ақ өз кітаптарын түрлі электронды форматта да жариялайды. Кейбір баспа материалдары электронды кітаптарда болмауы мүмкін.

Компаниялар өз өнімдерін ажырату үшін қолданатын белгілер тауар белгілері ретінде жиі пайдаланылады. Осы кітапта пайдаланылатын барлық сауда белгілері мен өнім атаулары сауда белгілері, қызмет көрсету белгілері, тауар белгілері немесе тиісті иелерінің тіркелген сауда белгілері болып табылады. Баспагер осы кітапта айтылған қандай да бір өніммен немесе жеткізушімен байланысты емес.

Жауапкершілік шегі/кепілдіктен бас тарту: Баспагер мен автор осы кітапты дайындау үшін барлық күш-жігерін жұмсағанымен, олар осы кітаптың мазмұны мен толықтығына қатысты ешқандай мәлімдеме немесе кепілдеме жасамайды және қандай да бір коммерциялық құндылық кепілдіктері немесе белгілі бір мақсаттарға жарамдылық туралы кез-келген кепілдіктерден бас тартады. Бұл кітап баспагер кәсіби қызмет көрсетумен айналыспайтындығын және де баспагер де, автор да осыдан туындайтын шығындар үшін жауапкершілік көтермейтіндігін түсіндіре отырып сатылады. Егер кәсіби кеңес немесе басқа сараптамалық көмек қажет болса, құзыретті маманның қызметтеріне жүгінген жөн.

АҚШ конгресс кітапханасының Библиографиялық жазбасы

Юсеф, Хелми А.

Тот баспайтын болат және ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу: дәстүрлі және дәстүрлі емес тәсілдер / Хелми А. Юсеф, Александрия университеті, Александрия, Египет.

беттер см

Библиографиялық сілтемелер мен индексті қамтиды.

ISBN 978-1-118-91956-9 (cloth)

1. Металл кескіш. 2. Тот баспайтын болат. 3. Хром-кобальт-никель-молибден қорытпалары. I. Атауы. TJ1185.Y67 2015 671.3'5-dc22015020392

Бұл кітап үшін каталогтың жазбасы британдық кітапханада қолжетімді.

Мұқабадағы сурет: tombaku/iE0ockphoto

SPiGlobal бойынша 10/12 жарты күнінде орнатылды, Пондичерри, Үндістан

1 2016

*Білім - қазына, ал тәжірибе
оның толықтығының кілті.
Фюлер*

Менің кішкентай періштелеріме арналады

ЮссефДж., Нур, Анорин, Файруз және Юсраға деген зор махаббатпен

Мазмұны

Алғысөз	xi
Автор туралы	xvi
Алғыстар	xviii
Номенклатура	xix
Глоссарий	xxii
1 Кіріспе	1
1.1 Тот баспайтын болаттар және ыстыққа төзімді қорытпалар қиын өңделетін материалдар ретінде	1
1.1.1 <i>Тот баспайтын болаттар және ыстыққа төзімді қорытпалар туралы тарихи анықтама</i>	2
1.1.1.1 <i>Тот баспайтын болат</i>	2
1.1.1.2 <i>Ыстыққа төзімді қорытпалар</i>	3
1.1.2 <i>Тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды өнеркәсіпте пайдалану</i>	3
1.1.2.1 <i>Тот баспайтын болаттар</i>	3
1.1.2.2 <i>Ыстыққа төзімді қорытпалар</i>	4
1.2 Дәстүрлі және дәстүрлі емес өңдеу процестері	4
1.2.1 <i>Өндіріс технологиясындағы механикалық өңдеудің маңыздылығы</i>	4
1.2.2 <i>Механикалық өңдеу процестерінің жіктелуі</i>	5
1.2.3 <i>Өңдеу процестерінің айнымалылары</i>	9
1.2.3.1 <i>Кіру сигналы (тәуелсіз)</i>	9
1.2.3.2 <i>Шығу (тәуелді) айнымалы</i>	9
Әдебиетке сілтеме	10
2 Тот баспайтын болаттардың түрлері және жіктелуі	11
2.1 Тот баспайтын болаттардағы қоспалауыш элементтердің рөлі	11
2.2 Тот баспайтын болаттардың түрлері	13
2.2.1 <i>Тот баспайтын болаттардың негізгі қоспалары (ферритті, мартенситті, аустенитті)</i>	13

2.2.1.1	<i>АТБИ-белгіленудегі ферритті тот баспайтын болаттар</i>	13
2.2.1.2	<i>Мартенситті тот баспайтын болаттар, маркалары</i> <i>АТБИ-белгіленуі</i>	18
2.2.1.3	<i>Аустенитті тот баспайтын болаттардың</i> <i>АТБИ-белгіленуі</i>	19
2.2.2	<i>Тот баспайтын болаттардың өндірістік</i> <i>қоспалары (дуплекс, рН-қоспалары)</i>	22
2.3	<i>Қорытынды ескертпелер мен салыстыру сипаттамалары</i>	23
	Әдебиетке сілтеме	26
3	Ыстыққа төзімді қорытпалардың түрлері және жіктелуі	27
3.1	Жалпы сипаттамалары және жіктелуі	27
3.2	Ыстыққа төзімді қорытпалардың түрлері	28
3.2.1	<i>Fe негізіндегі қорытпалар</i>	31
3.2.2	<i>Ni негізіндегі қорытпалар</i>	34
3.2.3	<i>Co негізіндегі қорытпалар</i>	39
	Әдебиетке сілтеме	40
4	Дәстүрлі өңдеу - өңделімділік, құралдар және майлау-суыту сұйықтықтары	41
4.1	Металдардың кесумен өңделу концепциясы	41
4.1.1	<i>Анықтамалар және жалпы аспектілер</i>	41
4.1.2	<i>Сандық бағалау және өңделімділік критерийлері</i>	42
4.1.2.1	<i>Құралдың төзімділік критерийлері</i>	44
4.1.2.2	<i>Кесу күші және энергия тұтыну критерийі</i>	46
4.1.2.3	<i>Сыртқы бетті әрлеу критерийі</i>	48
4.1.3	<i>Қиын өңделетін материалдардың өңделімділігін арттыру</i>	48
4.1.3.1	<i>Еркін өңдеу болаттары мен қорытпаларын қабылдау</i>	48
4.1.3.2	<i>Термиялық өңдеу (ыстық өңдеу)</i> <i>Жоғары жылдамдықпен өңдеу тұжырымдамасы және</i>	50
4.1.3.3	<i>анықтамасы</i>	50
4.1.3.4	<i>Ультрадыбыстық өңдеу</i>	57
4.1.3.5	<i>Суытудың алдыңғы қатарлы технологиялары</i>	58
4.1.3.6	<i>Құрал материалдарының криогендік өңделуі</i>	59
4.2	Кескіш құрал материалдары	60
4.2.1	<i>Мінсіз құрал материалдарының сипаттамасы</i>	60
4.2.2	<i>Кескіш құрал материалдарының түрлері</i>	61
4.2.2.1	<i>Жоғары жылдамдықтағы болат (ЖЖБ)</i>	65
4.2.2.2	<i>Түрлі түсті құймалы қорытпалар (Стеллит және ЮКОН)</i>	63
4.2.2.3	<i>Цементтелген карбидтер (Widia)</i>	64
4.2.2.4	<i>Титанның цементтелген карбидтері (TiC негізіндегі</i> <i>құралдар)</i>	68
4.2.2.5	<i>Металлкерамикалар</i>	69
4.2.2.6	<i>Керамика (Глинозем негізіндегі құралдар)</i>	69
4.2.2.7	<i>Силон</i>	70
4.2.2.8	<i>Бордың кубтық нитридi (БКН)</i>	70
4.2.2.9	<i>Алмаз</i>	71
4.2.3	<i>Тот баспайтын болаттар және ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеуге</i> <i>арналған құрал материалдары</i>	71
4.2.3.1	<i>Тот баспайтын болаттарға арналған кескіш</i> <i>құрал материалдары</i>	72
4.2.3.2	<i>Ыстыққа төзімді қорытпаларға арналған құрал материалдары</i>	73
4.3	Тот баспайтын болаттар және ыстыққа төзімді қорытпалар үшін майлау-суыту сұйықтықтары	77
4.3.1	<i>Функциялар, сипаттамалар мен жалпы түсініктер</i>	77

4.3.2	<i>Майлау-суыту сұйықтықтарының түрлері</i>	78
4.3.2.1	<i>Су негізіндегі сұйықтықтар</i>	78
4.3.2.2	<i>Таза майлар</i>	79
4.3.2.3	<i>Сұйық газ немесе криогендік суық агенттер</i>	79
4.3.2.4	<i>Қатты майлар</i>	81
4.3.3	<i>Қолдану әдістері</i>	81
4.3.4	<i>Тот баспайтын болаттарға арналған майлау-суыту сұйықтықтары</i>	82
4.3.4.1	<i>Кесуге арналған сульфохлорланған майлар</i>	82
4.3.4.2	<i>Эмульгацияланған сұйықтықтар</i>	83
4.3.4.3	<i>Тот баспайтын болаттар үшін майлау-суыту сұйықтықтарын таңдау</i>	83
	<i>Ыстыққа төзімді қорытпаларға арналған майлау-суыту</i>	
4.3.5	<i>сұйықтықтары</i>	84
4.3.5.1	<i>Жонып өңдеу, сүргілеу, өңдеу және кеңейту</i>	84
4.3.5.2	<i>Тарту</i>	84
4.3.5.3	<i>Бұрғылау және бұрғылап кеңейту</i>	85
4.3.5.4	<i>Бұранды ою және ойма тілу</i>	85
4.3.5.5	<i>Фрезерлеу</i>	85
4.3.5.6	<i>Арамен кесу</i>	85
4.3.5.7	<i>Ұсақтау</i>	85
	<i>Әдебиетке сілтеме</i>	87
5	Тот баспайтын болаттарды дәстүрлі өңдеу	89
5.1	<i>Тот баспайтын болаттардың өңделімділігі</i>	89
5.1.1	<i>Тот баспайтын болаттардан жасалған еркін өңделетін қоспалар</i>	90
5.1.2	<i>Тот баспайтын болатты еркін және еріксіз механикалық</i>	
	<i>Тот баспайтын болат</i>	93
5.1.2.1	<i>Ферритті және мартенситті қорытпалар</i>	95
5.1.2.2	<i>Аустенитті қорытпалар</i>	96
5.1.2.3	<i>Екі айналдырғы қорытпалар</i>	97
5.1.2.4	<i>РН- қорытпалар</i>	98
5.1.3	<i>Жақсартылған тот баспайтын болатты өңдеу</i>	98
5.1.4	<i>Тот баспайтын болаттардың өңделуін бағалау</i>	98
5.2	<i>Тот баспайтын болаттарды өңдеудің дәстүрлі процестері</i>	99
5.2.1	<i>Өзгеру</i>	99
5.2.1.1	<i>Пішінді өңдеу және кесу</i>	100
5.2.2	<i>Бұрғылау</i>	102
5.2.2.1	<i>Бұрғылау кезіндегі маңызды кеңестер</i>	
	<i>Тот баспайтын болат</i>	103
5.2.3	<i>Қашау</i>	106
5.2.3.1	<i>Тот баспайтын болатты қашаудың құралдық геометриясы</i>	106
	<i>5.2.3.2 Кеңейту параметрлері</i>	107
5.2.4	<i>Фрезерлеу</i>	107
5.2.5	<i>Созу</i>	108
5.2.6	<i>Тегістеу</i>	110
5.3	<i>Тот баспайтын болаттан жасалған өңделген беттік жабындар</i>	110
5.3.1	<i>Химиялық тазалау (Өңдеу)</i>	112
5.3.2	<i>Пассивтеу</i>	112
	<i>Әдебиетке сілтеме</i>	115

6 Ыстыққа берік қорытпаларды дәстүрлі өңдеу	116
6.1 Ыстыққа берік қорытпалардың кесумен өңдеу аспектілері	116
6.2 Ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу рейтингі	118
6.2.1 Құрал ресурсы және кесудің номиналды жылдамдығы негізінде өңдеу	118
6.2.2 Кесудің үлестік энергиясы негізіндегі өңделімділік	121
6.3 Ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеудің дәстүрлі процестері (ДӨП)	123
6.3.1 Ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу бойынша мәселелер мен ұсыныстар	123
6.3.2 Түрлендіру	124
6.3.3 Бұрғылау	127
6.3.4 Қашау	127
6.3.5 Фрезерлеу	130
6.3.6 Созу	134
6.3.7 Ұсақтау	136
6.3.7.1 Ажарлауыш шарықтың мәнін таңдау	136
Әдебиетке сілтеме	137
7 Дәстүрлі емес өңдеу процестері – шолу	138
Дәстүрлі емес өңдеу процестері	138
7.2 Механикалық дәстүрлі емес процестер	139
7.2.1 Ағындық өңдеу	139
7.2.1.1 Ағындық-абразивті өңдеу	139
7.2.1.2 Гидроабразивті өңдеу	142
7.2.1.3 Абразивті суағындық өңдеу	142
7.2.2 Абразивті-ағындық өңдеу	143
7.2.2.1 МЖЖ ААӨ әсер ететін параметрлер	144
7.2.2.2 ААӨ артықшылықтары	144
7.2.3 Ультрадыбыстық өңдеу	144
7.2.3.1 Түрлендіргіш және магнитстрикциондық әсер	145
7.2.3.2 Акустикалық мүйізшелер (Механикалық күшейткіштер немесе концентраторлар)	146
7.2.3.3 Процестің мүмкіншіліктері	146
7.3 Электрохимиялық және химиялық өңдеу процестері	147
7.3.1 Электрохимиялық өңдеу	147
7.3.1.1 Процестің мүмкіншіліктері	149
7.3.1.2 Импульстік электрохимиялық өңдеу (ИЭХӨ)	150
7.3.1.3 Профилдік құбырларды электролиттік өңдеу (ПҚЭӨ)	152
7.3.1.4 Электр ағыны (ЭА) немесе капиллярлық бұрғылау	154
7.3.2 Электрохимиялық тегістеу	156
7.3.3 Химиялық өңдеу	156
7.3.3.1 Химиялық фрезерлеу	157
7.3.3.2 Фотохимиялық өңдеу (Шашыратып өңдеу)	158
7.4 Термоэлектрлік процестер	159
7.4.1 Электроэрозиялық өңдеу	159
7.4.1.1 ЭД-машиналар үшін қолданылатын генераторлар типтері	161
7.4.1.2 Процестің мүмкіншіліктері	161
7.4.2 Электрондық-сәулелік өңделу	162

7.4.3	Лазерлік өңдеу	164
7.4.4	Плазмалық кесу	168
7.5	Дәстүрлі емес өңдеу процестері - болашағы	169
	Әдебиетке сілтеме	174
38	Тот баспайтын болаттар және ыстыққа төзімді қорытпаларды дәстүрлі емес өңдеу	175
	Тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды	
8.1	өңдеудің механикалық дәстүрлі емес процестері	175
8.1.1	Ағындық өңдеу	175
	<i>Тот баспайтын болаттарды және ыстыққа төзімді қорытпаларды ультрадыбыстық өңдеу (УДӨ)</i>	
8.1.2		176
8.1.3	<i>Тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды абразивті-ағындық өңдеу</i>	177
	Тот баспайтын болаттарды және ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеудің	
8.2	электрхимиялық және химиялық процестері	179
8.2.1	Электрхимиялық өңдеу	179
	<i>Тот баспайтын болаттардан және ыстыққа төзімді қорытпалардан жасалған профильді құбырларды</i>	
8.2.2	электролиттік өңдеу (ПҚЭӨ)	189
8.2.3	<i>Тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды механикалық өңдеудің электроағыны</i>	191
8.2.4	<i>Тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды электрохимиялық тегістеу (ЭХТ)</i>	191
8.2.5	Химиялық фрезерлеу	192
	8.4.5.1 СУМ және тереңдік бойынша рұқсат ету	193
	8.4.5.2 Беттің сапасы	193
8.2.6	Фотохимиялық өңдеу (Шашыратып өңдеу)	194
8.3	Термоэлектрлік өңдеу тәсілі	196
8.3.1	Электроэрозиялық өңдеу (ЭЭӨ)	196
8.3.2	ТБ мен СҚ-ны фрезерлеудің электр разряды	199
	8.3.2.1 Фрезерлік электр разрядын қолдану салалары	199
	8.3.2.2 Фрезерлік электр разрядының артықшылықтары мен шектеулері	200
8.3.3	Электрондық-сәулелік өңдеу	200
8.3.4	Лазерлік өңдеу	201
8.3.5	Плазмалық өңдеу	205
8.4	Турбомашиналар компоненттерін ЭХӨ және жылуэлектрлік процестерді экономикалық талдау	206
8.5	Терең ойықтарды дәстүрлі емес микро-бұрғылау – салыстыру	209
	Тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды	
8.6	термиялық өңдеу	209
8.6.1	<i>Тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды термиялық өңдеу үшін тұтастық пен өшірудің беттік тарифтері</i>	210
8.6.2	Лазерлік жонып өңдеу (ЛЖӨ) Инконель-718	211
	<i>Ыстыққа төзімді қорытпалар мен ПЭ-тот баспайтын</i>	
8.6.3	<i>болаттарды плазмалық жонып өңдеу (ЛЖӨ)</i>	211
	Әдебиетке сілтеме	212
9	Тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеуге қатысты ағымдағы және кейінгі, заманауи осы механикалық өңдеу саласындағы жетістіктері	215
9.1	Жалпы ережелер	215
9.2	Тот баспайтын болаттарды дәстүрлі механикалық өңдеуге	

байланысты соңғы зерттеулер	216
9.3 Ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеуге қатысты соңғы ғылыми-зерттеу жұмыстары	225
Тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды дәстүрлі	
9.4 емес механикалық өңдеуге қатысты соңғы зерттеулер	237
Әдебиетке сілтеме	240
Қосымшалар	245
Бақылау жұмыстары	249
Көрсеткіш	264

АЛҒЫСӨЗ

"Механикалық өңдеу" термині дайын өнім алу мақсатында дайындама бөлігін механикалық тәсілмен жонғаққа жою арқылы бөлшектерді қалыпқа келтіруге арналған өндіріс тәсілдерінің үлкен жиынтығын қамтиды. Механикалық өңдеу дизайн талаптарына сәйкес соғылма, құйма, дәнекерленген және жымдасқан бұйымдарды, өнімдерді қалаған кескіндерге, өлшемдерге және әрлеуге айналдыру үшін қолданылады. Өзге өңдеу технологияларымен салыстырғанда, өңдеу өзінің әмбебаптылығымен, бетінің өте жоғары дәлдігімен және сапаға ең үнемді түрде қол жеткізуге мүмкіндік беретіндігімен сипатталады.

Жаңа құрал-сайман материалдарын өңдеу, онда білдектер параллельді түрде дамитын өңдеу өнеркәсібі үшін жаңа дәуірді ашты. Өткен ғасырда дәстүрлі емес қайта өңдеу әдістері дәстүрлі әдістермен өңдеу қиын болған өте қатты және берік экзотикалық материалдардан жасалған кешенді пішінді бөлшектерді өңдеудің балама әдістерін ұсынды.

Өнеркәсіптік дамыған елдерде металды экспорттауға байланысты жыл сайынғы шығындар жалпы ішкі өнімнің шамамен 10%-ына бағаланады. Осы себепті ірі өндірісте ұтымды тәсіл және материалды жою процестерінің өнімділігін елеусіз арттыру үлкен маңызға ие.

Өткен онжылдықта инженерлік материалдар жақсы дамыды. Шыныққан болат, тот баспайтын болат, ыстыққа төзімді қорытпалар, карбидтер, керамика және талшықты-арматураланған композиттік материалдар сияқты материалдар қазіргі өнеркәсіпте жиі қолданылады. Мұндай материалдарды жонып өңдеу, фрезерлеу, тегістеу және т.с.с. сияқты дәстүрлі әдістерді қолданып өңдеу кезінде кесу мен материалды жою жылдамдығы төмендеу тенденциясына ие. Бұл дәстүрлі әдістерді қолдану арқылы белгілі бір пішіндегі қатты материалдарды өңдеу қиынға түседі. Бірыңғай бағдарламаны қабылдау және негізгі және қолданбалы зерттеулердің нәтижелерін пайдалану арқылы таяу уақытта дәстүрлі немесе дәстүрлі емес әдістермен жұмыс істеу қиын деп есептелетін көптеген құрылыс материалдарын өңдеуге болады.

Бұл кітап негізінен қазіргі заманғы өнеркәсіптік қолданбаларда жиі пайдаланылатын екі негізгі материал болып табылатын тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды қолданатын өңдеу технологияларын қамтиды. Оның тақырыптарын қарау дәстүрлі өңдеу процестерінен басталады және дәстүрлі емес және гибридті технологияларды өңдеудің жаңа технологияларына қолданылады.

Осылайша, кітапты өндіріс, материалдар және машина жасау бағдарламалары бойынша оқитын үлкен курс студенттері мен аспиранттар үшін анықтамалық мәтін ретінде қарастыруға болады. Кітап әлемнің инженерлік ЖОО-да оқытылатын өндіріс технологиясының элективті курстарын қамтиды. Бұдан басқа, бұл кітапты студенттер автокөліктер, әуе-ғарыштық техника және газтурбиналық қондырғылар сияқты жобалауға және өндіріске байланысты басқа пәндерде қолдануы мүмкін. Бұл кітап анықтамалық болғанынан бөлек, дәстүрлі және дәстүрлі емес өңдеу процестерінде табысты өңдеу стратегияларын әзірлеу, тиісті өңдеу параметрлері мен жабдықтарын таңдау бойынша іргелі ақпарат ұсынады. Тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу процестерінің қазіргі және келешегіне әсер ететін ғылыми және практикалық әзірлемелерге басты назар аударылады.

«Оқытушы курсты студенттердің нақты қажеттіліктеріне бейімдей алады». Сонымен қатар, өңдеу технологиясы саласында жұмыс істейтін инженерлер мен аға технологтар, егер осы салада

болмаса, баламалы және бәсекелес процестер мен материалдардың үнемі кеңейіп келе жатқан салаларында осы кітапта көптеген пайдалы идеялар мен ойларды таба алады.

Кітапта негізгі екі мақсат бар: алдымен көптеген қосымшалар үшін құрылымдық материалдар ретінде пайдалы болып табылатын тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпалардың сипаттамаларын қарастыру; екіншіден, осы материалдарда өңдеу өнімділігі мен өңдеу әдістерінде қалай және неге бұл материалдар ерекшеленетінін түсіндіру.

Кітап тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу мүмкіндігін сипаттайтын тоғыз тараудан тұрады. Бұл материалдар экономикалық және экологиялық шараларды ескере отырып, дәстүрлі түрде немесе дәстүрлі емес түрде өңделуі мүмкін. Жонып өңдеу, фрезерлеу, бұрғылау, кеңейту, созу және тегістеу сияқты дәстүрлі өңдеу операциялары әдетте мүмкін болған жағдайларда жиі қолданылады. Кейде бұл материалдарда үнемді жылдамдықпен кесуге қажетті материалдарды табу мүмкін болмайды; ондай кезде дәстүрлі емес өңдеуді қолдану мәселенің шешімі болып табылады. Ағындық өңдеу, абразивтік ағындармен өңдеу, электр химиялық өңдеу, лазерлі түйінмен өңдеу және т.б. сияқты әдеттегі емес өңдеу процестері олардың қаттылығы мен күшіне қарамастан, бұл қорытпаларды нақты өңдеу мүмкіндігіне ие.

Кітаптың жоспары

Мұндай кітапты жазу қиын тапсырма болып табылады, өйткені ол екі күрделі материалдарға (тот баспайтын болат және ыстыққа төзімді қорытпалар) байланысты; әрқайсысы әр түрлі екі өңдеу тәсілімен (дәстүрлі және дәстүрлі емес өңдеу әдістерімен) өңделетін көптеген қорытпалардан тұрады. Сонымен қатар, кішігірім көлемдегі кітап болғандықтан, оның материалдары әртүрлі қарастырылған тақырыптарды анықтау және айқындау үшін мұқият іріктелген болуы керек. Кітап мүмкіндігінше мұқият әрі әсерлі болу үшін жасалғанымен, ол математикалық модельдеуді және теңдеулерді материалдың негізгі түсінігін жақсарту үшін ғана қажет етеді. Мен қаралып жатқан әрбір мәселеде шындыққа жақын пікір көзқарастарын қолдайтын әдебиеттерге сілтеме жасау кезінде ойланып таңдайтын болдым. Идеялар мен тәжірибелік нәтижелер мен кітапта анық дәлелдеуге тырысқан жеткілікті көлемдегі көздерден қаралды. Кітаптың нақты тармақтары туралы қосымша ақпарат алғысы келетін адамдар әрбір тараудың соңында түрлі сілтемелерді қарай алады.

Төмендегі кестеде кітаптың тараулары өз мақсаттарына жету үшін қалай ұйымдастырылғаны қысқаша көрсетілген. Бұдан басқа, кітаптың жекелеген тарауларында баяндалған тақырыптар төменде қысқаша сипатталған.

Кітап тараулары	Қарастырылатын тақырыптар			
	ДӨ	ДЕӨ	ТББ	ЫТҚ
T1	•	•	•	•
T2	—	—	•	—
T3	—	—	—	•
T4	•	—	•	•
T5	•	—	•	—
T6	•	—	—	•
T7	—	•	—	—
T8	—	•	•	•
T9	•	•	•	•

Тараулардың атаулары: Кіріспе, ДӨ: дәстүрлі өңдеу, ДЕӨ: дәстүрлі емес өңдеу, ТББ: тот баспайтын болат және ЫТҚ: ыстыққа төзімді қорытпалар.

1-тарау қиын өңделетін материалдардың маңызды санаты ретінде тот баспайтын болат пен ыстыққа төзімді қорытпаларды ұсынады. Тот баспайтын болат пен ыстыққа төзімді қорытпалардың пайда болуының тарихи алғышарттары, сондай-ақ қолданылуы берілген. Өңдеу

процестері дәстүрлі және дәстүрлі емес болып бөлінеді. Ақыр соңында, өңдеу процесінің айнымалы мәндері анықталады.

2 және 3-тараулар АТБИ және ҚББЖ белгілеу жүйелеріне сәйкес ТББ және ЫТҚ типтері мен жіктелуі қарастырылады. 2-тарауда ТББ-ның қасиеттеріне қоспалаудың әсері ұсынылды, содан кейін ТББ әртүрлі санаттарға топтастырылады. 3-тарауда СҚ-лар Ni, Fe және Co негізіндегі қорытпалар сияқты жіктеледі. Кез-келген өңдеу процесін дұрыс орындау үшін материалдың қасиеттерін білу керек. ТББ мен ЫТҚ-ның қысқаша механикалық және жылулық сипаттамалары, сондай-ақ олардың химиялық құрамы қысқаша баяндалады. Соңында, олардың өнеркәсіптік қолданылуы ерекше атап өтілді.

4-6-тарауларда тот баспайтын болат пен ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеудің дәстүрлі әдістері талқыланады. 4-тарауда тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды дәстүрлі өңдеуге қатысты үш мәселе қарастырылады. Бұл өңдеу, кесу құралдары және жақпамай-сергіту сұйықтықтары. ДӨ-дің негізгі механикалық қасиеттерін қарап шыққаннан кейін тот баспайтын болаттың және ыстыққа төзімді қорытпалардың механикалық қасиеттерін жақсарту әдісі ұсынылған. Содан кейін тот баспайтын болат пен ыстыққа төзімді қорытпалар сияқты қатты материалдарды үнемді өңдеу үшін қолданылатын жоғары жылдамдықтағы болаттар (ЖЖБ), стеллиттер, ЮКОН, қапталған және карбидтер, керамика және металл керамика сияқты құрал-жабдықтар ұсынылған. Осы жақында бордың поликристалды кубтық нитридi (БПКН) және поликристалды синтетикалық диамант (ПСД) сияқты әзірленген құрал-жабдықтар ұсынылған. Құрал материалдарының құрамы мен қасиеттерін сипаттайтын көптеген кестелер берілген. Ақыр соңында, тот баспайтын болатты да, ыстыққа төзімді қорытпаларды да өңдеуге арналған майлау-суыту сұйықтықтары ұсынылған. 5-тарау дәстүрлі тот баспайтын болаттар үшін өңдеуге арналған. Бос және қатайтылған тот баспайтын қорытпалардың өңделуі зерттелді. Тот баспайтын болаттан жасалған маңызды маркаларды бағалау үшін 10-деңгейлі жұмыс кестесі ұсынылған. Содан кейін дәстүрлі тот баспайтын болатты өңдеу процестері ұсынылған. Тиісті өңдеу параметрлері кестеде жинақталған. 6-тарау ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеудің дәстүрлі тәсілдеріне арналған. Осы маңызды қорытпаларды дәстүрлі механикалық өңдеу осыған ұқсас етіп берілген.

Тиісті өңдеу параметрлері ұсынылып, дәстүрлі ыстыққа төзімді қорытпаларды өндіру әдістеріне арналған жабдық пен майлау-суыту сұйықтықтары қарастырылған.

7-8 тараулар дәстүрлі емес өңдеу әдістеріне арналған. 7-тарауда ағынды өңдеу, ультрадыбыстық өңдеу, электр химиялық өңдеу, электр эрозиялық өңдеу, лазерлі түйінмен өңдеу сияқты дәстүрлі емес өңдеу процестерінің негіздері қарастырылатын дәстүрлі емес өңдеу процестеріне шолу жасалады. Бұдан басқа, әр процестің ерекшеліктері, артықшылықтары және шектеулері ұсынылған. 8-тарауда тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларға сәтті қолданылған әдеби деректерге, мамандандырылған компания ақпаратына және анықтамалық материалдарына негізделіп, кейбір дәстүрлі емес өңдеу процестері қысқаша сипатталады.

9-тарау тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды дәстүрлі және дәстүрлі емес өңдеу кезіндегі ағымдағы және соңғы оқиғаларды талқылайды. Бұл тарау ең алдымен әйгілі ғылыми басылымдарға және соңғы конференция материалдарына негізделіп, сала мен ең соңғы және ең жиі сілтеме жасалған ғылыми мақалалар арасындағы озық білім саласындағы алшақтықты толтырады. Осы зерттеулердің негізгі мақсаты көптеген стратегиялардың қайта өңделуін арттыру арқылы тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды дәстүрлі және дәстүрлі емес өңдеудің өнімділігін арттыру болды.

Кітаптың соңында студенттер тақырыптардың маңыздылығын білу үшін сұрақтар қарастырылады.

Қажетті білімдер

Студент келесі міндетті курстарды меңгеру қажет:

- Өндірістік технологиялар
- Механикалық өңдеу процестерінің негіздері
- Материалтану
- Металдар мен қорытпаларды термиялық өңдеу

Кітаптың ерекшеліктері

Кітап келесі мүмкіндіктерді береді:

1. Ол тот баспайтын болат пен ыстыққа төзімді қорытпалардың қазіргі өнеркәсіптегі өңдеу технологиясының сипаттамасын ұсынады.

2. Онда кесте (84) және иллюстрация (114) түрінде суреттелген және жіктелген тот баспайтын болат пен ыстыққа төзімді қорытпалар ұсынылған.

3. Әр тараудың соңындағы библиография оқырманға толығымен жаңартылған сілтеме ретінде қызмет ететін кітаптар мен мерзімдік басылымдарды қамтиды.

4. Ол кескіш құралдың тот баспайтын болаттар және ыстыққа төзімді қорытпалардың дәстүрлі өңдеуі үшін ұсынылатын майлау-суыту сұйықтығымен бірге ұтымды таңдауын қамтамасыз етеді.

5. Онда тот баспайтын болаттар және ыстыққа төзімді қорытпалардың өңдеуі бойынша маңызды ұсынымдар берілген.

6. Ол басқа кітаптарда қарастырылмайтын соңғы өңдеу технологияларын қамтиды.

7. Онда тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпалардың танымал ғылыми жарияланымдар мен конференциялар негізіндегі дәстүрлі және дәстүрлі емес өңдеудің қазіргі заманғы және соңғы құрастырмалары берілген.

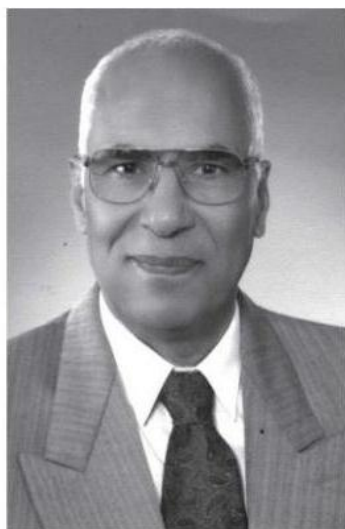
8. Ол өндіріс технологиясындағы негіздер мен соңғы жетістіктерді қамтиды.

9. Алғаш рет тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпалардың дәстүрлі және дәстүрлі емес өңдеуі бойынша қолдануда қарапайым бір анықтамалық ұсынылады.

Ақыр соңында мен барлық мүмкін болатын қателіктерді жою үшін барлығын жасадым. Мен осыған қатысты толық табысты күтпеймін және әлі де сақталған қателер туралы ақпарат үшін риза болар едім. Жекелеген сұрақтарды немесе пікірлерді жеке поштама жолдауыңызға болады: Youssef_helmi@yahoo.com.

*Хельми А. Юсеф
Александрия,
Египет, қараша, 2015*

Автор туралы



Профессор Хельми А. А. Юсеф 1938 жылы Египеттің Александрия қаласында дүниеге келді. Бакалавр дәрежесін алды, 1960 жылы Александрия университетін үздік аяқтады. Содан кейін ол 1961-1967 жылдары Германиядағы Карл Вильгельмин атындағы Брауншвейг технологиялық университетінде өзінің ғылыми жұмысын аяқтады. 1964 жылы маусымда ол инженер дәрежесі бойынша диплом алды; кейін 1967 жылдың желтоқсанында дәстүрлі емес өңдеу саласында докторлық дәреже алды. 1968 жылы Александрия университетіне профессордың көмекшісі ретінде өндірістік факультетке оралды.

1973 жылы - доцент, 1978 жылы - профессор атағын алды.

1995-1998 жылы профессор Юсеф Александрия университетінің өндіріс технологиясы кафедрасының меңгерушісі болды.

1989 жылдан бері Египет университеттерінде профессорларды алға жылжыту бойынша Ғылыми комитет мүшесі.

1975-1995 жылдар аралығында профессор Юсеф Триполидегі Эль-Фатех университетінде, Бағдадтағы Техникалық университетте, Эр-Риядтағы Сауд король университетіне және Бейруттағы Бейрут араб университетіне (БАУ) шақырылған профессор болды. Ол зертханалар құрды және көптеген докторлық және магистрлік диссертацияларға жетекшілік етті. Профессор Юсеф көптеген халықаралық конференцияларды ұйымдастырды және қатысты. Ол мамандандырылған журналдарда көптеген ғылыми мақалалар жариялады. Ол өзінің маманданған саласы бойынша көптеген кітаптар жазды, олардың екеуін жалғыз автор ретінде жазып шықты. Өңдеу технологиясы бойынша бірлесіп жазылған кітаптардың бірі 2008 жылы АҚШ-тағы CRC-да жарияланды. 2011 жылы тағы да бір бірлесіп жазылған «Өндіріс технологиясы» кітабы CRC-та жарияланды. Қазіргі уақытта ол Александрия университетінің құрметті профессоры. Оның университеттегі жұмысы металл кесу мен дәстүрлі емес өңдеу саласындағы курстарды дайындауды және зерттеулер жүргізуді қамтиды.

Алғыстар

Ең алдымен осы кітаптың шығуына өзінің үлесін қосқан қымбатты ұжымдастарымның еңбегін үлкен құрметпен атап өткім келеді. Мен ұсынған құнды материалдар үшін профессор А.Висерге (Бремен университеті, Германия) және Х.Аттияға (Макгилл университеті, Канада) алғыс айтқым келеді. Сондай-ақ, Египет-жапон университетінің инновациялық жобалау мектебінің деканы, профессор Х.Эль-Хофиге және Александрия университетінің профессоры М.Ахмедке кітап тақырыбы бойынша талқылау мен қызығушылықтары үшін алғыс білдіргім келеді. Бағдарламалық қамтамасыз ету мәселелерін шешу бойынша берген тұрақты көмегі үшін доктор Халед Юсифке де көп рахмет айтамын. Lord Alexandria Razog компаниясынан Сайед Тейлеб мырзаға Auto-CAD-тағы құнды әрі әдемі сызбалары үшін алғыс айтамын. Қосқан үлестерін ескеруді ұмыт қалдырған басқаларынан кешірім сұраймын.

Менің әйелім Набиелла Юссефке осы кітапты жазуға кеткен бірнеше ұзақ айлар бойы көрсеткен көмегі, түсіністігі және төзімділігі үшін шын жүректен алғыс білдіремін.

Осы кітаптың үздік түрде шығуын қамтамасыз ету бойынша қосқан үлесі үшін Wiley&Sons компаниясының редакция кеңесі мен өндірістік қызметкерлерінің қолдауын, жанкештілігін және үздіксіз көмегін ерекше жоғары бағалаймын. Сонымен қатар, осы кітапта сілтеме жасалатын барлық дерек көздерінің авторларына да рахмет айтамын. Көп иллюстрациялар, фотосуреттер мен кестелердің шығуына қажетті рұқсатын берген көптеген ассоциацияларға, ұйымдар мен баспаларға да алғыс білдіремін. Олар:

- АМК, Халықаралық материалдар паркі, Огайо штаты.
- Eugen G. LeuzeVerlВы KG, Bad Saulgau, Wurtemberg, Германия
- Kрупп, Widia, GmbH, Эссен, Германия
- Kennametal
- Chemical Corporation
- VDI-VerlВы, Дюссельдорф, Германия
- CIRP-Күйд.als, Париж, Франция
- ElsevierLtd, Оксфорд, Ұлыбритания
- SpringerVerlВы
- "Эль-Фатх Пресс", Александрия, Египет.
- CRC PreТББ, Taylor & Francis, Boca Raton
- VDI VerlВы, Дюссельдорф, Германия, 1990
- США патенті
- Александриялық инженерлік журнал, Египет

НОМЕНКЛАТУРА

Символ	Анықтама	Блок
Ac	Кесілмеген көлденең қиманың ауданы	мм ²
C	Сыйымдылық	мкФ
C	Тейлор тұрақтысы	—
c	Рога материалындағы акустикалық жылдамдық	м/с
c	Электролиттің меншікті жылу сыйымдылығы	кал/кг·°C
c ₁	Бұйым материалының меншікті жылу сыйымдылығы	Н м/кг·°C
C _d	Температура өткізгіштік коэффициенті = $k_t/\rho \cdot c_1$	м ² /с
D	Дайындаманың диаметрі	мм
df	Электронды түйін шоғырландыру диаметрі	мм
dg	Абразивті түйіршіктің диаметрі	мкм
du	Химиялық тілікше	мм
E	Юнг модулі	МПа
Ed	Жеке разряд энергиясы	Р
EF	Өңдеу факторы	—
F	Қуат	Н
F	Фарадей тұрақтысы = 96 487	А·с/моль
f	Беру жылдамдығы	мм/айн
f r	Өзіндік жиілігі (резонансты жиілік)	Гц
Fa	Осьтік күш	Н
Fc	Басты қиып алу күші	Н
fe	Қоздырушы діріл жиілігі	Гц
Ff	Қуат күші	Н
Fr	Радиал күші	Н
h	Жоңқаның деформацияланбаған қалыңдығы	мм
H	Жылу энергиясы	кал
hc	Жоңқа қалыңдығы	мм
hg	ЭЭӨ-дегі маңдайлық тесіктің қалыңдығы	мкм

Символ	Анықтама	Блок
I	Өңдеу тогы	А
I	Плазмалық ток	А
ib	Электронды түйін тогы	А
i_b	Электронды түйін тогы	А
ic	Зарядтау тогы	А
id	Разрядтау тогы	А
Ip	Алдын ала магниттеуші ток	А
k_s	Қиып алудың арнайы энергиясы	Н/мм ²
k_t	Жылу өткізгіштік	Н/с·°С
Li	Электрондық түйін энергиясы	А·с
m	Жұмыс материалының анодтық еру массасы	г
m_e	Электролиттің уақыт бойынша массалық шығыны t	кг
n	Тейлор көрсеткіші	—
N	Жұмыс материалының атомдық массасы	г/моль
n, N	Қозғалтқыштың айналу жылдамдығы	Мин/айн
N/n	ЕС- жұмыс материалының эквиваленті	г/моль
P	Лазер қуаты	Б
P_e	Электрондық түйін қуаты	Н м/с
pt	Тоқыраған қысым	МПа
q	Электролит ағынының жылдамдығы	м ³ /с
R	Кесудің қорытқы күші	Н
R	Радиус	мм
R	Кедергі	Ω
rn	Құрал төбесінің радиусы	мм
RT	Құрал өміріне негізделген ретінде өңделімділік	—
RV	Кесу жылдамдығына байланысты өңделімділік	—
T	Құралдың беріктігі	мин
t	Кесу тереңдігі	мм
t	Уақыт	с
t	Хим-фрезерлеудегі кесу тереңдігі	мкм
t	Табақ қалыңдығы	м
T	Бұрғылау кезіндегі айналу сәті	Н·м
t_1	Табақ қалыңдығы	м
T_b	Электролиттің қайнау температурасы	°С
tc	Зарядтау уақыты	мкс
td	Зарядтың біту уақыты	мкс
Te	Химиялық өңдеу тереңдігі	мм
te	Өңдеу уақыты	мин
Ti	Электролит температуралары	°С
ti	Импульс жылдамдығы	мкс
To	Бастапқы көлемді температура	К
Ts	Бет температурасы	К
u	Химиялық фрезерлеуде кесу	мкм
v	Кесу жылдамдығы	м/мин
Vb	Электрон түйіндерінің ток үдеуі кернеуі	кВ

Символ	Анықтама	Блок
V_B	Тозу	мм
v_f	ЭХӨ-ге беру жылдамдығы	мм/мин
v_f	ЭЛӨ-ге жылжыту жылдамдығы	мм/мин
v_{fp}	Бату жылдамдығын шектеу	м / мин
v_g	Ажарлауыш шарықтың шеңберлік жылдамдығы	м/с
v_j	Ағын жылдамдығы	м/с
v_t	Траверса кесу жылдамдығы	м/мин
Z	Материалды кетіру жылдамдығы	мм ³ ·с ⁻¹
z	Кинцле көрсеткіші	—

Грек символдары	Анықтама	Блок
σ_b	Иілу беріктігі	Н/мм ²
n	Механикалық құралдың жалпы тиімділігі және нақты тиімділігі	—
ρ	Тығыздық	кг/м ³
σ_f	Ағын кернеуі	МПа
θ_m	Бұйым материалының балқу температурасы	°С
ρ_s	Саңылаудың электр кедергісі	Ω·м
ρ_e	Электролит тығыздығы	кг/м ³
χ	Бұрыш	шама
σ_f	Ауытқулар амплитудасы	пм
θ_m	Толқын ұзындығы	м

Глоссарий

Аббревиатура

АТ
ААӨ
АТБИ
САБ
АҰСИ
АИМК

АСАӨ

ТА
БКН
Хим-фрезерлеу
КСБ
КНТ
ТТ
ТТЭХӨ

НСИ
КТ
БК
ҚӨК
ҚӨМ
ЭСӨ
ЭХТ
ЭХӨ
ЭЭӨ
ЭР-фрезерлеу
ЭАӨ

Сипаттамасы:

Айнымалы ток
Ағынның абразивті өңдеуі
Американдық темір және болат институті
Ағынды-абразивті өңдеу
Американдық ұлттық стандарттар институты
Американдық инженер-механиктер қауымдастығы
Американдық материалдар сынау қауымдастығы
Абразивті су ағынды өңдеу
Бринель бойынша қаттылық саны
Тоқырау аймағы
Бордың кубтық нитридi
Химиялық фрезерлеу
Компьютерлік сандық басқару
Көміртекті нанотүтікше
Тұрақты ток
Тұрақты токпен электрохимиялық өңдеу
Неміс стандарттау институты
Кесу тереңдігі
Бағытталған кристалдану
Қиын өңделетін кесу
Қиын өңделетін материалдар
Электрондық-сәулелік өңдеу
Электр химиялық тегістеу
Электр химиялық өңдеу
Электр эрозиялық өңдеу
Фрезерлік электрлік разрядтар
Электролиттік-ағындық өңдеу

Аббревиатура

ЖӘА
НВ
НҒ
НМР
ННВ
ННС
НСМ
НТББ
ИВР
СХҰ
АӨ
Лазер
ЛКҰ
ЛСӨ
МММ
ЖММ
МСА
КМБ
СБ
НД:ИАГ
ШҰҚ
ДЕӨТ
АТТК
ОРВ
ПДӨ
ПБ
ПСӨ
ПКА
ФХП
СБ
РС
ҚЖҚ
ЫТҚ
ШӨ
БЭЭӨ
СЭМ
ББ
ҚҚ
ТББ
ПКЭӨ
ЖӨ
ДӨТ
УЛӨ
УДӨ
ЭЭӨ
ГАӨ
БҰ

Сипаттамасы:

Жылу әсері аймағы
Бринель бойынша қаттылық
Жоғары жиілік
Гибридтік өңдеу тәсілі
Роквелл В бойынша қаттылық
Роквелл С шкаласы бойынша қаттылық
Өңдеудің жоғары жылдамдығы
Тезкескіш болат
Қалақшалары бар ротор
Стандарттау бойынша халықаралық ұйым
Ағындық өңдеу
Мәжбүрлі сәулелену арқылы жарықты күшейту
Лазер көмегімен ұштау
Лазер сәулесімен өңдеу
Магниттік-абразивті өңдеу
Жақпамайдың минималды мөлшері
Материалды жою жылдамдығы
Көпмаксатты бұрғылау
Сандық басқару
Неодимді иттрийлі-алюминийлі гранат
Шүмек ұшының қашықтығы
Өңдеудің дәстүрлі емес тәсілдері
Ашық тізбектің тоқ кернеуі
Оксидті дисперсиялық беріктендіру
Плазмалық доғалық өңдеу
Плазмалық бұрылыс
Плазмалық сәулелік өңдеу
Поликристалды алмаз
Фотохимиялық өңдеу
Сокпалы бұрғылау
Реостатты сыйымдылық
Қайта жасалған қабат
Ыстыққа төзімді қорытпа
Шашыратып өңдеу
Батыруды электр эрозиялық өңдеу
Сканерлеуші электрондық микроскоп
Беттің біртұтастығы
Қауіпсіз қашықтық
Тот баспайтын болат
Профильді құбырларды электролиттік өңдеу
Жылулық өңдеу
Дәстүрлі өңдеу процестері
Ультрадыбыстық лазерлік өңдеу
Ультрадыбыстық өңдеу
Сымды электр эрозиялық өңдеу
Гидроабразивті өңдеу
Бұйым

Кіріспе

1.1 Тот баспайтын болаттар және ыстыққа төзімді қорытпалар қиын өңделетін материалдар ретінде

Соңғы онжылдықтарда инженерлік материалдар жақсы дамыды. Бұған қоса мұндай материалдарды жонумен өңдеу, жоңғылау, бұрғылау, егеу және т.б. сияқты дәстүрлі әдістерді пайдалана отырып өңдеу кезінде кесу жылдамдығы және материалды жою жылдамдығы (МЖЖ) төмендейді. Көп жағдайда тот баспайтын болаттар, баяу жанатын металдар мен қорытпалар, Ті-қорытпалар, ыстыққа төзімді қорытпалар, карбидтер, керамика, композиттер және тіпті алмаз сияқты материалдарды дәстүрлі әдістерді пайдалана отырып өңдеу қиын болды. Енді мұндай материалдарды кесу үшін жеткілікті түрде қатты құрал материалдарын табу мүмкін емес.

Осы міндеттерді шешу үшін озық әдістемемен және аспаптармен жаңа процестерді әзірлеу қажет. Бұл – осы қиын өңделетін материалдардың кең ауқымын қаттылығына қарамастан өңдеуге қабілетті дәстүрлі емес процестер. Керамиканы, беріктігі жоғары полимерлер мен композиттерді кеңінен пайдалану да дәстүрлі емес өңдеу әдістерін пайдалануды қажет етеді. Бұдан бөлек, егеу сусымалылықты ұстауға (ССҰ) және поликристалды алмаз (ПКА) мен бордың поликристалды кубтық нитридін (БПККН) пайдалануға үлкен назар аудара отырып бұрынғыдан да көп қолданылатын болады [1].

Енді мынадай сұрақ туындайды, неге бұл кітапта қиын өңделетін материалдар ретінде тот баспайтын болаттар да, ыстыққа төзімді қорытпалар да таңдалды? Бұның себептері төмендегідей:

1. Жоғары беріктік, жылуға жоғары төзімділік, жемірілуге және тотықтануға жоғары төзімділік тән арнайы материалдар мен қорытпаларды пайдалануды қажет ететін әртүрлі және маңызды өнеркәсіптік қолданулар.

2. Екі материалды да өңдеуге байланысты қиындық кездеседі, бұған қоса олар әртүрлі өңдеу сипаттамаларының ондаған сұрыптарын қамтиды.

3. Екі материал да төмен жылу өткізгіштігімен, жылулық ұлғаюының жоғары коэффициентімен, жоғары созымдылығымен және орнықтырудың жоғары жылдамдығымен сипатталады, бұл оларды өңдеуді еңбекті көп қажет ететін міндет қылады. Олардың төмен жылу өткізгіштігі құрал температурасының жоғарылауына алып келеді, сәйкесінше бұл құрал ресурсын азайтады. Өңдеудің жоғары жылдамдығы және төмен жылу өткізгіштігі жоңқаның құрылуына әсер етеді, бұл сегменттелген жоңқаға алып келеді. Сондай-ақ бұл қорытпалардың жылулық ұлғаюының жоғары коэффициенті механикалық өңдеуге қойылатын шекті ұстап тұруда қиындықтарға алып келеді.

4. Жоғары созымдылық беткі әрлеуді бұза отырып және діріл мен бұлғауды тудыра отырып, құралда сүйір шеттің (СШ) пайда болуына ықпал етеді.

Тот баспайтын болаттар мен суперқорытпаларды оңтайлы өңдеуге қол жеткізудегі басты

мәселе кесудің барабар жылдамдығын және әр өңделетін материал үшін дұрыс құралды таңдау болып табылады. Осы мақсатты жүзеге асыру үшін кесу жылдамдығының өңделетін материал мен кескіш құралдың механикалық және термиялық қасиеттеріне әсерін дұрыс түсініп алу қажет. Тот баспайтын болаттар мен суперқорытпалардың өңделімділігін арттыру үшін қолданылатын кейбір басқа әдістер осы кітаптың тиісті тарауларында келтірілетін болады.

1.1.1 Тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпалар туралы тарихи анықтама

1.1.1.1 Тот баспайтын болат

Тот баспайтын болаттар (ТББ) жиырмасыншы ғасырдың басында Англиядағы, Германиядағы және Франциядағы пионерлік жұмыс нәтижесінде енгізілді. Дегенмен игеру бірнеше онжылдықтар бұрын басталған болатын. 1821 жылы француздық Бертье темірхромды қорытпаның кейбір қышқылдарға төзімді екенін анықтады. Басқалары хромның төмен пайызын пайдалана отырып темір матрицадағы Сг-ның әсерін зерттеді. 1875 жылы басқа француз Брустлайн Сг-ға қосымша деңгей көміртегінің маңыздылығын мойындады.

1904 жылы Леон Гилье бүгінде құрамы 410, 442, 446 және 440 С ретінде белгілі мартенситті және ферритті ТББ-ды зерттеуін жариялады. 1906 жылы ол тағы да Fe-Ni-Cr аустенитті қорытпасының толық зерттеуін жариялады; бұл ТББ-дың 300 сериясына баламалы болды. Германияда 1908 жылы Моннарц пен Борхерс жемірілуге төзімділік бойынша Сг-ның ең төмен деңгейі (10,5%) арасындағы өзара байланысты, сондай-ақ хлоридтерге жемірілуге төзімділікті арттыруда көміртектің төмен мөлшері мен Мо рөлінің маңыздылығын дәлелдеді.

Шеффилдтен шыққан Гарри Брирли жалпы ҰІТҚ-ның индустриалды ғасырының бастамашысы ретінде аккредиттелді. Ол қажалып тозуға төзімді болуы мүмкін ауыр құралдардың оқпаны үшін жаңа материалды әзірлеуге тырысты. Ол Сг мөлшері жоғары материалдар улаудан өтпегенін атап өтті. Бұл жаңалық Сг 9-16% және С кемінде 0,7% болатқа патент алуға әкелді. Оның жұмыстарының көп бөлігі 1919 жылы патенттелген 430 тот баспайтын болаттан жасалды. Алғашқы өнім ас-үй құралдары болды, олар әлі күнге дейін пайдаланылуда.

Англия мен Германияда жұмыс істеумен қатар Ф.М. Бекет 1000 °С-қа дейін жұмыс істейтін пешке арналған арзан әрі қаққа төзімді материалды табу үшін Ниагар сарқырамасында жұмыс істеді. Ол тотығуға немесе қаққа төзімділікке қол жеткізу үшін кемінде 20% Сг қажет екенін анықтады. Бұл ыстыққа төзімді болаттардың алғашқы игерілуі болатын.

Фрэнк Палмер ойлап шығарған (1928) [2] әлемдегі алғашқы еркін өңделген тот баспайтын болат тура күкірт болды (0,15% S). Бұл бүгінгі мартенситті 416 тот баспайтын болаттың негізін қалаушы болды.

Аустенитті болатты 303 тот баспайтын қылған күкір пен фосфор енгізілді, біріншісі 1930 жылдың басында Cr-Ni рангін еркін механикалық өңдеуге ұшыратты. Күкірттің орнына селенді (Se) қолдану орынды болды.

1.1.1.2 Ыстыққа төзімді қорытпалар

Тот баспайтын болат жоғары техникалық талаптарды қанағаттандырудың бастапқы нүктесі болды. Бұдан бөлек, көп кешікпей олардың күштік мүмкіншіліктері шектеулі екені анықталды. Металлургия тот баспайтын сұрыптарды ыстыққа төзімді қорытпалар (ЫТҚ) деп атауға болатын нәрсені жасай отырып, өсіп келе жатқан қажеттіліктерді қанағаттандырды. Әрине, бұл дефис алынып тасталып, темір негізіндегі жақсартылған материалдар ыстыққа төзімді қорытпаның бір типі ретінде белгілі болғанға дейін орын алды.

«Ыстыққа төзімді қорытпа» термині жоғары температурада жоғары өнімділікті қажет еткен турбоайдағыштар мен авиациялық турбиналық қозғалтқыштарда пайдалану үшін игерілген қорытпалар тобын сипаттау үшін алғаш рет Екінші дүниежүзілік соғыстан кейін көп ұзамай енгізілді. Алты онжылдықтан кейін-ақ ыстыққа төзімді қорытпалар ұшақтарда, сондай-ақ жерасты газ турбиналарында жоғары жұмыс температурасына және кернеулі күйге жетудің ең сенімді және үнемді құралы болып табылды. Біз жиырма бірінші ғасырдың үшінші онжылдығына аяқ басқанымызға қарай, ыстыққа төзімді қорытпалар өздерінің керемет ажырамас сипаттамаларымен қатар температураларының пайдалы диапазонын кеңейтеді. Бұл материалдарды әзірлеу химиялық құрамды және өндіру әдістерін оңтайландыра отырып әлі күнге дейін жалғасуда. Бұл жоғары температурада механикалық қасиеттерді жақсарту қажеттілігін ескере отырып, материалдардың жаңа класын құруға алып келеді.

Al-ге және нихром типті қорытпаларға қосылатын Ti-қоспаларға патенттер 1920 жылдары берілді, ыстыққа төзімді қорытпалардың индустриясы авиациялық қозғалтқыштардың өте жоғары температуралық беріктігіне қойылатын талаптарды қанағаттандыру үшін Co негізіндегі қорытпаларды (Haynes, Eöellite 31) қабылдау арқылы туындады. Азды-көпті тостер сымына негізделген және жиырмасыншы ғасырдың бірінші онжылдығында игерілген Ni-Cr (Инконель және Нимоник) кейбір қорытпалары инженерлік қолдануда да қолжетімді болды. Осылайша, аса жоғары температуралық сипаттамалар үшін конструкторға қолжетімді керемет металл қорытпалар жасау үшін жарыс басталды. Бұл жарыс әлі күнге дейін жалғасуда.

1.1.2 Тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды өнеркәсіпте пайдалану

1.1.2.1 Тот баспайтын болаттар

Қарапайым адам тот баспайтын болаттардың не екенін білмейді, бірақ мұның бәрі бізді айналамызда тұр. Біздің көпшілігіміз тот баспайтын болаттан жасалған ас үй ыдысын пайдаланамыз және корпусы тот баспайтын болаттан жасалған қол сағаттар тағамыз. Тоңазытқыштар мен тұмшапештерде тот баспайтын болаттан жасалған тіреулер, сондай-ақ тот баспайтын болаттан жасалған тостерлер, шәйнектер, тіпті ыдыс-аяқ жуатын шұңғылша да бар. Автокөліктерде үш жылдың орнына он жыл сақталатын тот баспайтын болаттан жасалған газ шығару жүйелері бар, егер олар әдеттегі болат болғанда мұндай ұзақ сақталмайтын еді. Тот баспайтын болаттан жасалған қорытпалардың нақты типтерінің өнеркәсіпте пайдаланылуы кітаптың тиісті бөлімдерінде айтылатын болады.

Тот баспайтын болаттар бірінші кезекте коррозиялық төзімділігімен, жоғары беріктігімен және созымдылығымен және хромның көп мөлшерімен сипатталатын болат қорытпалары ретінде анықталады. Олар тот баспайтын деп аталады, себебі O₂ (ауаның) болуынан олар хром оксидінің жұқа, қатты, жабысқақ үлдірін түзеді және жылтырақ күйінде қалады. Егер бет сырылып кетсе, бұл үлдір қайтадан жиналады (яғни, өздігінен қалпына келу). Пассивтеу үшін хромның масса бойынша 10,5%-ға жуық ең аз мөлшері болуы тиіс. Көміртек, никель, марганец, кремний, титан, молибден, алюминий, күкірт, фосфор, азот және т.б. сияқты басқа қоспалаушы элементтер Cr-Fe матрицасына ТБ-ның әртүрлі 150 құрамымен ең жақсы тәсілмен құрады деп айта кетуге болады, бұлардың 15-ке жуығы ең қарапайым түрде пайдаланылған.

Бұл қорытпаларды ас үй ыдысында, ас үй құралдарында, хирургиялық құралдарда, негізгі аспаптарда, өнеркәсіптік жабдықта (мысалы, қант зауыттарында), сондай-ақ автоккөліктік және әуе-ғарыштық конструкциялық қорытпалар ретінде және үлкен ғимараттарда құрылыс материалы ретінде пайдалану үшін орамдарға, парактарға, тілімдерге, шыбықшаларға, сымдарға және түтіктерге ұсатады. Сақтауға арналған резервуарлар және апельсин шырыны мен басқа да тамақ өнімдерін тасымалдауға арналған автоцистерналар өзінің жемірілуге төзімділігі мен бактерияға қарсы қасиеттері арқасында жиі ТБ-тан дайындалады. Бұл сондай-ақ оны коммерциялық ас үйлерде және тамақ өнеркәсібі кәсіпорындарында пайдалануға әсер етеді, себебі ол бумен тазартылуы, зарарсыздандырылуы және бояуды немесе бетті басқаша әрлеуді қажет етпеуі мүмкін.

1.1.2.2 Ыстыққа төзімді қорытпалар

Ыстыққа төзімді қорытпалар (ЫТҚ) қара және түсті металдарды қамтитын санатты білдіреді. Олардың кейбірі темірге негізделген, ал басқалары никель мен кобальтқа негізделген. Негізінде, көптеген ыстыққа төзімді қорытпалар бір негізгі металдан тұрмайды, үш немесе одан көп металдардың едәуір мөлшерін құрайды, бұған қоса қоспалауыш элементтер де бар. Бұл қорытпалардың тоннажы басқа металдардың көбісімен салыстырғанда азғантай болса да, коммерциялық жағынан маңызды, себебі олар өте қымбат және де істей алатын нәрселері үшін де технологиялық маңызды.

Ыстыққа төзімді қорытпалар жоғары температурада пайдалану кезінде беріктігіне және беттік тозуына төзімділігіне қойылатын өте жоғары талаптарды қанағаттандыруға арналған тиімділігі жоғары қорытпалар тобы болып табылады. Бөлме температурасындағы әдеттегі беріктік бұл металдар үшін әдетте маңызды критерий болып табылмайды және олардың көбісі бөлме температурасында беріктік қасиеттерге ие, бұл қасиет жақсы, бірақ елеулі емес. Олардың жоғары температурада көрінуі оларды ажыратады; созылуға беріктік, ыстық қаттылық, сусымалылық кедергісі және өте жоғары температурада жемірілуге төзімділік, механикалық қасиеттері. Жұмыс температуралары беріктік пен қаттылықты бұзатындай төмендемей, көбінесе 1100 °С шамасында болады [3].

Ыстыққа төзімді қорытпалар қолданылатын негізгі салалар әдетте авиациялық газ турбиналарын, ғарыш аппараттарын, бутурбиналы электр станцияларын, піспекті қозғалтқыштарды, жылумен өңдеуге арналған жабдықты, металдарды өңдеуге және құюға арналған қалыптарды, ядролық энергетикалық жүйелерді, медициналық ұсыныстарды, химиялық және мұнай-химиялық өнеркәсіпті, қоршаған ортаның ластануымен күресуге арналған жабдықты, көмірді газдандыру және сұйылту жүйелерін қамтиды. Ыстыққа төзімді қорытпалар (сондай-ақ ыстыққа төзімді қорытпалар деп жіктелетін ТББ-тың кейбір типтері) авиациялық қозғалтқыштардың турбина қалағы, турбина қалақшалары, турбина қалақшасының сақиналары, турбина шүмегі, қозғалтқышы және турбина қабы сияқты жетілдірілген компоненттерінде жиі пайдаланылады.

1.2 Дәстүрлі және дәстүрлі емес өңдеу процестері

1.2.1 Өндіріс технологиясындағы механикалық өңдеудің маңыздылығы

Технологиялық жетістіктер барлық дамыған өңдеуші өнеркәсіпте орын алуды жалғастырып жатқан кезде, механикалық өңдеу әлі де металдар мен қорытпаларды құру үшін пайдаланылатын өте маңызды процесс болып қалуда. Басқа технологиялық процестермен салыстырғанда механикалық өңдеу өзінің бірегейлігімен және ең үнемді тәсілмен беттің ең жоғары дәлдігіне және тұтастығына жету мүмкіндігімен сипатталады [4]. Материалдар мен қорытпалардың көбісі, қаттысы немесе жұмсағы, құйылғаны немесе соғылғаны, илемді немесе морт материалдар механикалық өңдеуге ұшырайды.

Сағат бөлшектерінен бастап ұшақ қанатының қосалқы бөлшектеріне (ұзындығы 30 м-ден көп) немесе кеме бұрамаларына дейін, машина жасау өнімдерінің көп бөлігі механикалық өңдеумен өндіріледі. Өңдеу процестерінің мұндай бірегейлігін көптеген факторлармен, соның ішінде төмендегілермен түсіндіруге болады:

- Өңдеу күрделі жабдықтауды қажет етпейді.
- Ол конструкциялық материалдардың көбісі үшін қолданылуы мүмкін.
- Құралдың тозуы шектелген және құралдары қымбат емес.
- Техникалық-экономикалық қиындықтарды жеңу үшін өңдеу параметрлерінің көп санын тиісті түрде бақылауға болады.

Жаңа құрал материалдарын әзірлеу өңдеуші өнеркәсіп үшін жаңа ғасырды ашты, бұл өнеркәсіпте бұған қоса білдектер де дамыды. Өткен ғасырда дәстүрлі емес өңдеу әдістері аса қатты және өте қатты экзотикалық материалдарда күрделі формадағы бөлшектерді өңдеу үшін баламалы әдістер ұсынды, олар қиын өңделетін дәстүрлі әдістер болатын.

Жоғары дамыған индустриалды елдерде металды шығаруға байланысты жыл сайынғы шығындар жалпы ұлттық өндірістің шамамен 10%-да бағаланады. Металл кескіш білдектер жұмыс істеп тұрған өндірістік білдектердің 70%-ға жуығын құрайды және жоғары дәлдікпен және өнімділікпен сипатталады. Осы себептен оңтайлы тәсілдің және материалды жою процесінің өнімділігін аз ғана арттырудың ірі сериялы өндірісте маңызы зор. Сондай-ақ өңдеуші өнеркәсіппен өндірілетін материалдардың 10%-ға жуығы қалдықтарға кететіні белгілі. Бұл өңдеу процесінің айрықша ерекшелігі болып табылмайды, себебі ол өндіріске байланысты басқа барлық әдістерде кездеседі. Сондықтан механикалық өңдеуді көп жағдайда материалдың жоғары шығынына алып келетін әдіспен бірдей деп қарауға болмайды [5].

Механикалық өңдеу әдетте, қолдануға дайын болғанға дейін құю және қалыптау арқылы алынған бөлшектерді соңғы әрлеу операциясы ретінде пайдаланылады. Алайда өндірістің басқа технологияларымен салыстырғанда механикалық өңдеу процестерін міндетті шешім ететін бірқатар себептер бар: Олар:

- Егер өлшемдерді өте қатаң бақылау және құю мен қалыптау кезінде мүмкін болатын қатаң шектер талап етілуі мүмкін болса.
- Егер бөлшектердің тиісті түрде жұмыс істеуі үшін беттің ерекше сапасы талап етілуі мүмкін болса.
- Егер бөлшекте басқа өндірістік операциялармен алынуы мүмкін болмайтын сыртқы және ішкі геометриялық элементтер болса.
- Егер бөлшекті басқа өндірістік операциялармен өндіру емес, оны өңдеу үнемді болса.

Екінші жағынан, механикалық өңдеуде келесі шектеулер бар:

- Әдетте, қалыптау және құю арқылы бөлшекке пішін беруге қарағанда, материалды жою үшін көп уақыт қажет.
- Дұрыс орындамаған жағдайда механикалық өңдеу бұйым бетінің сапасына, қасиеттеріне кері әсер етуі мүмкін.
- Механикалық өңдеу, әдетте энергияны, капиталды және көп еңбекті қажет етеді.
- Өңдеу біліктілігі жоғары операторлар мен мамандарды қажет етеді. Дұрыс емес шешім өндірудің жоғары құнына және өңдеудің төмен сапасына алып келеді.
- Өңдеу күрделі өлшеу құралдарын қажет етеді.

1.2.2 Механикалық өңдеу процестерінің жіктелуі

Жақында қаттылығы мен беріктігі едәуір жоғарылаған конструкциялық материалдар әзірленді, сондықтан кесу жылдамдығы және МЖЖ жонып өңдеу, жонғылау, егеу және т.б. сияқты дәстүрлі әдістерді пайдалана отырып мұндай материалдарды өңдеу кезінде төмендеу үрдісіне ие. Көп жағдайда

осы дәстүрлі әдістерді пайдалана отырып, қатты материалдарды белгілі бір пішіндерге механикалық өңдеу мүмкін емес. Кейде қатқан күйдегі беріктігі жоғары қосындыланған болат компоненттерін механикалық өңдеу қажет болады. Енді шындалған болат, аустенитті болат, нимониктер, карбидтер, керамика және талшықтармен арматураланған композиттік материалдар сияқты үнемді жылдамдықпен кесу өте қиын болатын құрал материалдарын табу мүмкін емес. Дәстүрлі әдістер мұндай материалдарды үнемдеп өңдеуге жарамайды, және олардың дамуына ешқандай мүмкіндік жоқ, себебі бұл материалдардың көбісі кескіш құралдар ретінде пайдалануға қолжетімді материалдарға қарағанда қаттырақ.

Тиісті қолданбалы зерттеулерді пайдалана отырып, қазіргі таңда бұрын дәстүрлі әдістерді пайдалану арқылы механикалық емес деп саналған конструкциялық материалдардың көбісін өңдеуге болды. Жақында әзірленген өңдеу процестерін көбінесе дәстүрлі емес немесе дәстүрлі емес өңдеу процестері (ДЕӨП) деп атайды. Олар дәстүрлі кескіш құралдар қолданылмауы себепті дәстүрлі емес деп аталады; ол құралдардың орнына тікелей пішіндегі энергия қолданылады. Бұл процестер әсіресе дәстүрлі әдістермен өңдеуге келмейтін қиын өңделетін материалдармен, қылаусыз немесе қалдық кернеусіз өңделген бөлшектер бетінің жоғары дәлдігіне және жақсы әрленуіне қол жеткізуге бағытталған технология саласындағы соңғы зерттеулер мен әзірлемелерді қамтиды.

Сондықтан механикалық өңдеу процестері дәстүрлі механикалық өңдеу процестеріне (ДӨП) және ДЕӨП-ге бөлінеді [1] (1.1-сурет).

1. Кескіш құрал өңделетін материалмен өзара әрекеттескен кезде жаңқа түзілетін ДӨП. Бұл процестер дайындамаға өту үшін сынаның негізгі түрінің дәстүрлі құралдарын пайдаланады. Бұл құралдар өңделетін материалдан қаттырақ болуы тиіс. ДӨП екі санаттан тұрады:

а. Кесу: (процестерді қашаулай отырып) белгілі бір геометриядағы құралдар қолданылатын бұрау, сүргілеу, бұрғылау, жұқарту, созу және т.б.

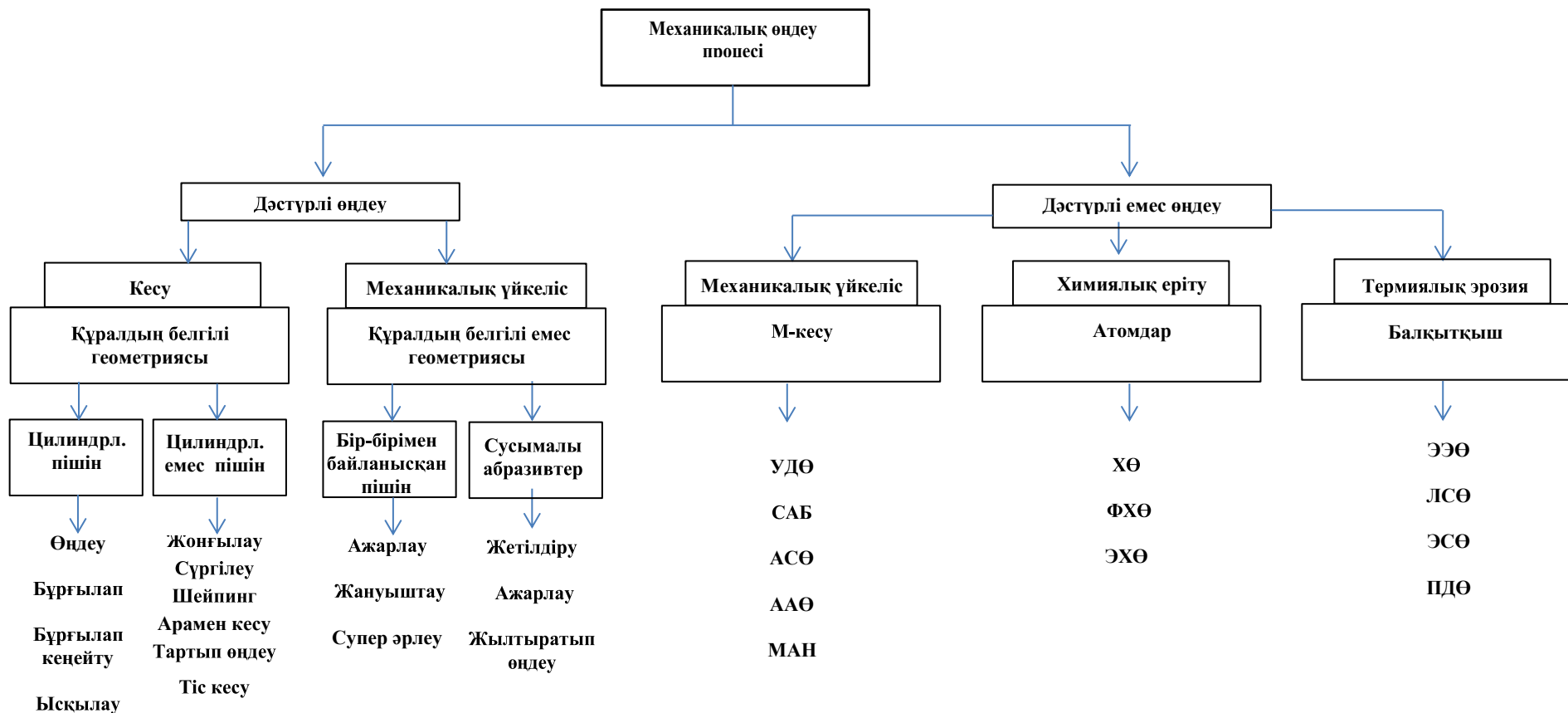
б. Белгісіз геометриядағы құралдар қолданылатын, егеу, жануыштау, ысқылау және т.б. сияқты қажау процестері.

2. Механикалық өңдеуге ұшырата отырып, энергия өз пішінінде қолданылатын ДЕӨП. Бұл процестер аз үйреншікті, және ДӨП қолданылуы мүмкін емес өте күрделі талаптарды қанағаттандыру үшін дұрысырақ.

ДЕӨП де екі санаттан тұрады (1.2-сурет):

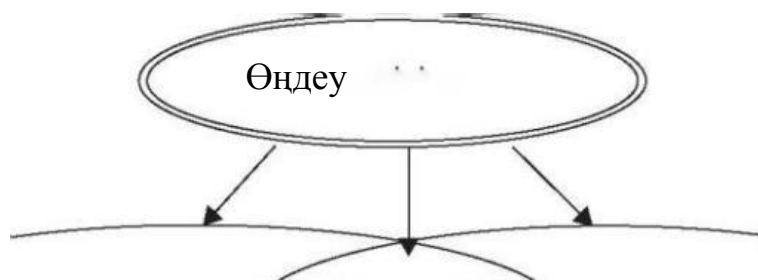
- Механикалық энергия жұмыс материалдарын өңдеуі үшін қолданылатын ысқылау процестері; бұл процестер ультрадыбыстық өңдеуді (УДӨ), су ағынды өңдеуді (САӨ), абразивті-ағынды өңдеуді (ААӨ), абразивті-су ағынды өңдеуді (АСАӨ) және т.б. қамтиды.

- Химиялық және электрхимиялық энергияны, мысалы, химиялық өңдеуді (ХӨ), электрхимиялық өңдеуді (ЭХӨ) және әрі қарай, немесе жылу энергиясын, мысалы механикалық өңдеуге (МӨ), лазерлік және механикалық өңдеуге (ЛМӨ), электрондық-сәулелік өңдеуге (ЭСӨ), плазмалық сәулелік өңдеуге (ПСӨ) және т.б. ұшырата отырып электр тогынан айыруды пайдалана отырып жүргізілетін эрозиялық процестер (1.1-сур.). ЭЭӨ құралдарды, бұранда кескіштерді, пресс-кескіндерді жасауда және ҮТҚ және ТББ сияқты алдын ала материалдарды тиімді механикалық өңдеуде өз пайдасын нық белгіледі.



Дәстүрлі емес өңдеу процестерін қысқаша жазу үшін ескертуді Қысқартулар тізімінен қар.

1.1-сурет. Механикалық өңдеу процестерін жіктеу.



Кесу (ұсақтау)	Үйкелеу	Эрозия	
ДӨП		ДЕӨП	
Механикалық энергия		Эрозиялық энергия	
Ұсақтау эффектісі	Микро жаңқаның пайда болу әсері	Еріту эффектісі	Жылулық эрозия
Айналу Бұрғылау Сүргілеу Жасау Созу Қашау	Ұсақтау Жануыштау Ысқылау ССМ АСО ӨЖЖ ААӨ	ХӨ ВКМ ИКМ	ЭЭӨ ЛЛО ЭСӨ ПСӨ

1.2-сурет. Дәстүрлі және дәстүрлі емес өңдеу процестері: Юсеф және авторлас [1]. Рұқсатпен қалпына келеді).

ДЕӨП негізінде материалдарды аз ауқымды жоюмен шектеледі. Олар дәстүрлі процестерге қарағанда келесі ерекшеліктерге ие:

- Олар металл және бейметалл материалдардың кең ауқымын олардың қаттылығына немесе беріктігіне қарамастан өңдеуге қабілетті.
- Қатты және аса қатты материалдардан жасалған күрделі және шырмалып қалған пішіндер беті жоғары дәлдікпен және сапамен және әдетте қылаусыз оңай дайындалуы мүмкін.
- Кескіш құралдардың қаттылығының маңызы жоқ, әсіресе жұмыс пен құрал арасында физикалық байланыс жоқ көптеген ДЕӨП-де.
- Жай кинематикалық қозғалыстар машинаның конструкциясын оңайлататын ДЕӨ жабдығында қажет.
- Микро және шағын тесіктер мен қуыстар ДЕӨ -мен жасалуы мүмкін.

Алайда айта кету керек:

1. ДЕӨП ДӨП-нің орнын баса алмайды. Оларды экономикалық тұрғыдан ақталған жағдайда немесе ДӨП-ні қолдану мүмкін болмаған жағдайда ғана пайдалануға болады.
2. Осы жағдайларға лайықты деп танылған нақты ДЕӨП басқа жағдайларда тиімділігі бірдей болмауы мүмкін. Сондықтан аталған өңдеу үшін ДЕӨП-ні мұқият таңдау қажет. Таңдау кезінде келесі аспектілерді ескеру керек:
 - a. Өңделетін материалдың қасиеттері және өңделетін форманың геометриясы
 - b. Технологиялық процесс параметрлері
 - c. Процесс мүмкіншіліктері
 - d. Экономикалық және экологиялық ой-пікірлер.

1.2.3 Өңдеу процесінің айнымалылары

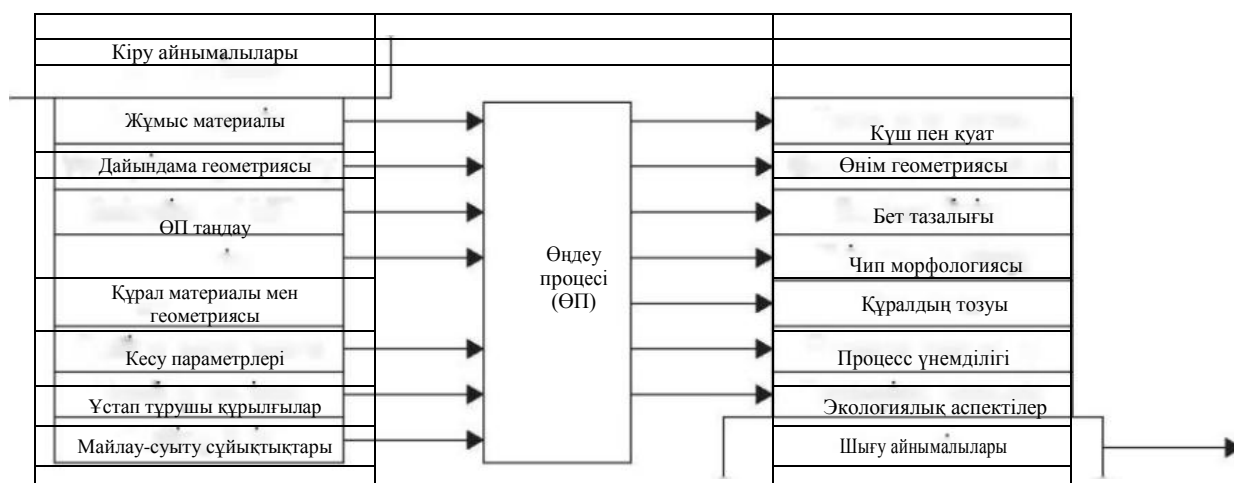
Кез келген өңдеу процесінде екі өзара байланысты айнымалы болады. Бұл кіру (тәуелсіз) және шығу (тәуелді) айнымалылары. (1.3-сурет) [4]:

1.2.3.1 Кіру сигналы (тәуелсіз)

- Дайындама материалы құрам және металлургиялық ерекшеліктер ретінде
- Алдыңғы процестерді қоса алғанда бастапқы дайындама геометриясы
- ДӨП немесе ДЕӨП болуы мүмкін процесті таңдау
- Құрал материалы және құрал геометриясы
- Кесу параметрлері
- Жұмыс орнын ұстауға арналған жалпы тағайындалымдағы қысқыштардан бастап арнайы әзірленген кондукторлар мен керек-жарақтарға дейінгі құрал-саймандар
- Майлау-суыту сұйықтықтары

1.2.3.2 Шығу (тәуелді) айнымалы

- Күш және кесу күші. Кесу күші ауытқу мен дірілдеуге әсер етеді; екеуі де бөлшектің өлшемі мен дәлдігіне әсер етеді. Күш жылудың бөлінуіне, сәйкесінше құралдың тозуына әсер етеді.
- Қажетті формаларды, шектерді және механикалық қасиеттерді механикалық өңдеуге ұшырата отырып алынған дайын өнімнің геометриясы.



1.3-сурет. Өңдеу процесінің кіру және шығу айнымалылары

- Беттік әрлеу: қалаған беттік әрлеуге қол жеткізу үшін көптеген кесінділерді анықтау қажет болуы мүмкін.
- Энергияның жоғары тұтынылуы себебінен құралдың істен шығуы.
- Өңдеу процесінің үнемділігі кесу жылдамдығымен және басқа да айнымалылармен, сондай-ақ құндық және экономикалық факторлармен анықталады. Өңдеуде үнемдеу маңызды аспект болып табылады.
- Экологиялық аспектілер және денсаулыққа келетін қауіптер қажетті шараларды қабылдау арқылы қаралып, жойылуы тиіс.

Әдебиетке сілтемелер

- [1] Youssef, H.A., El-Hofy, H., Ahmed, M.H. (2011) *Manufacturing Technology – Materials, Processes, and Equipment*. CRC PreТББ, Boca Raton, FL.
- [2] Palmer, F.R. (1934) Ferrous alloys. US Patent 1961,777.
- [3] Groover, M.P. (2010) *Fundamentals of Modern Manufacturing, Materials, Processes, and SyllҚӘӨs*, John Wiley & Sons, Inc., 4th edn.
- [4] Youssef, H.A., El-Hofy, H. (2012) *Principles of Traditional and Nontraditional Machining*. El-Fath Publishing PreТББ, Alexandria.
- [5] Youssef, H.A., El-Hofy, H. (2008) *Machining Technology - Machine Tools and Operations*, CRC PreТББ, Boca Raton, FL.

2

Тот баспайтын болаттардың түрлері және жіктелуі

2.1 Тот баспайтын болаттағы қоспалауыш элементтердің рөлі

Келесі элементтерді қосудың тот баспайтын болаттарға (ТББ) төмендегідей әсері бар:

1. Көміртек, С көміртек ТББ-да үнемі кездеседі. Мартенситтен басқа барлық санаттарда көміртек деңгейі жеткілікті түрде төмен болып сақталады. Мартенситті сұрыптарда жоғары беріктік пен қаттылық алу үшін көміртек деңгейі әдейі жоғарылатылады. Жоғары температураға дейін қыздыру, шындау, содан кейін жіберу арқылы термиялық өңдеу мартенситті құрылымды дамытады.

Көміртек жемірілуге төзімділікке әсер етеді. Егер көміртек Хром карбидтерін түзе отырып Сг-мен біріге алса, бұл пассивті үлдірдің түзілу қабілетіне зиянды әсер етуі мүмкін. Егер ошақталған аймақтарда Сг 10,5%-дан төмендесе, пассивті үлдір түзілмейді.

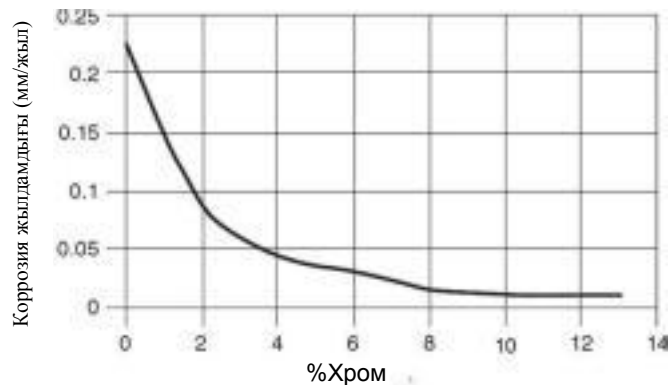
2. Хромий, Хромий Сг қатты реактивті элемент және барлық тот баспайтын болаттардың пассивті табиғатын анықтайды. Жемірілуге төзімділік ЧР-да болудың тура нәтижесі болып табылады. Көрсетілгендей, ТБ ең болмағанда Сг 10,5%-ын құраса, Сг₂О₃пассивті үлдірі лезде құрылады, бұл О₂-нің бетке әрі қарай кірігуінің (диффузиясының) алдын алады. КР-деңгей неғұрлым жоғары болса, қорғаныс та соғұрлым жоғары (2.1-сурет).

3. Никель, Ni тот баспайтын болаттарда маңызды қоспалауыш элемент болып табылады. Оның болуы аустенитті құрылымның түзілуіне алып келеді, ол бұл сорттарға криогендік температуралар кезінде де беріктік, серпімді және тұтқырлық береді. Сондай-ақ ол болатты магниттік емес етеді. Ni-дің пассивті беттік қабаттың түзілуіне тура әсер етпеуі қышқылдық шабуылға, әсіресе күкірт қышқылымен шабуылға төзімділіктің айтарлықтай жақсаруына ықпал етеді.

4. Молибден, Мо. Молибденді Сг-Fe-Ni матрицасына қосу нүктелік жемірілудің жергілікті әсер етуге төзімділігін және саңылаулы жемірілуге, әсіресе ферритті сұрыптарда төзімділігін арттырады. Ол хлоридтердің зиянды ықпалына көмектеседі. (AISI-316 2% Мо-мен)

Тот баспайтын болат пен ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу: дәстүрлі және дәстүрлі емес әдістер, бірінші басылым. Хельми А.Юсеф.

© 2016 John Wiley & Sons, Ltd. 2016 жылы John Wiley & Sons, Ltd. жарияланды



2.1-сурет. Моннарц және Борхерс, Германия, 1908 табылған дәлелдерге сәйкес, хром мөлшерінің жемірілу жылдамдығына әсері

304 жағалау маңындағы және көктайғаққа қарсы тұзды жағдайларға қарағанда артығырақ). Мо мөлшері неғұрлым жоғары болса (кейбір ТБ құрамында 6%-ға дейін Мо бар), хлоридтердің жоғары деңгейлеріне төзімділік соғұрлым жақсы болады.

5. Марганец, Mn. Әдетте, марганецті балку кезінде қышқылсыздануға ықпал ету үшін және ыстық шытынауда мәселе тудырмау үшін темір сульфиді қоспаларының түзілуінің алдын алу үшін тот баспайтын болаттарға қосады. Ол сондай-ақ аустенит тұрақтандырғышы болып табылады, және жоғарырақ деңгейге (4-15% Mn) қосу кезінде ол құны төмен АТБИ-200 сериялы ТБ сұрыптарындағы кейбір Ni-дің орнын басады.

6. Кремний, Si және мыс, Cu. Кремний мен мыстың аз мөлшері әдетте күкірт қышқылына жемірілуге төзімділікті жақсарту үшін құрамында Мо бар аустенитті тот баспайтын болаттарға қосылады. Сондай-ақ кремний тотығуға қарсылықты және феррит тұрақтандырғышын жақсартады. Аустенитті ТБ-ларда Si-дің жоғары мөлшері тотығуға қарсылықты жақсартады және де жоғары температура жағдайларында көміртектенудің алдын алады (мысалы, АТБИ-309 және АТБИ-310). Кремний мөлшері жоғары құймаларда құю қасиеттерін жақсарта отырып, балқытылған металдың сұйықтай аққыштығын арттырады. Жоғары Si-пісіру сымы (MIG металл инертті газы) жуылуға және сулануға әсер етеді. Мыс орнығуға бейімділікті азайту есебінен аустенитті типтердің өңделімділігін арттырады. Cu суық жұмыс кезінде кернеумен туындаған мартенситтің түзілуін азайта отырып, Ni сияқты «аустенит» аймағының қуатты тұрақтандырғышы ретінде жұмыс істейді. Ку-мойынтірек түрін суық соғу рангтері.

7. Азот, N аустенитті және айналдырғы тот баспайтын болаттарда; азот питтинг пен кристаллитаралық жемірілудің жергіліктенген шабуылына қарсылықты арттырады. Азот оны қосқан жағдайда ыстыққа төзімді қорытпалардың құшеюін қамтамасыз етеді.

8. Ниобий, Nb оның қосылуы кристаллитаралық жемірілудің алдын алады, әсіресе пісіруден кейін ТЭА-да (термиялық әсер аймағы). Nb пассивтер үшін Cr-ның қажетті мөлшерінің микроқұрылымынан айыруы мүмкін хром карбидтерінің түзілуінің алдын алуға көмектеседі. Ферритті тот баспайтын болаттарда Nb-ны қосу термиялық қажуға қарсылықты арттырудың тиімді тәсілі болып табылады.

9. Титан, Ti Титан аргоноттекті көміртексіздену (АОК) ыдыстарын пайдаланар алдында тот баспайтын болаттарды тұрақтандыру үшін қолданылатын негізгі элемент болып табылады. ТБ ауада балқытылған кезде көміртек деңгейін азайту қиын болады. АОК алдындағы ең кең таралған сұрып (АТБИ-302) көміртектің ең жоғары деңгейіне 0,15% шектелді. Осы жоғары деңгейде Ti титан карбидтерін түзе отырып көміртекпен әрекеттеседі және Cr₂O₃ пассивті үлдірінің түзілуіне әсер етуі мүмкін хром карбидтерінің түзілуінің алдын алады.

10. Күкірт, S немесе селен, Se S немесе Se әдетте төмен деңгейде ұсталып тұрады, себебі олар сульфидті қоспалар түзуі мүмкін. Ол негізінде өңделімділікті жақсарту үшін қолданылады (мұнда бұл қоспалар жоңқа сындырғыш ретінде қолданылады). Алайда S-ты немесе Se-ні қосу нүктелік жемірілуге төзімділікті төмендетеді.

2.2 Тот баспайтын болат түрлері

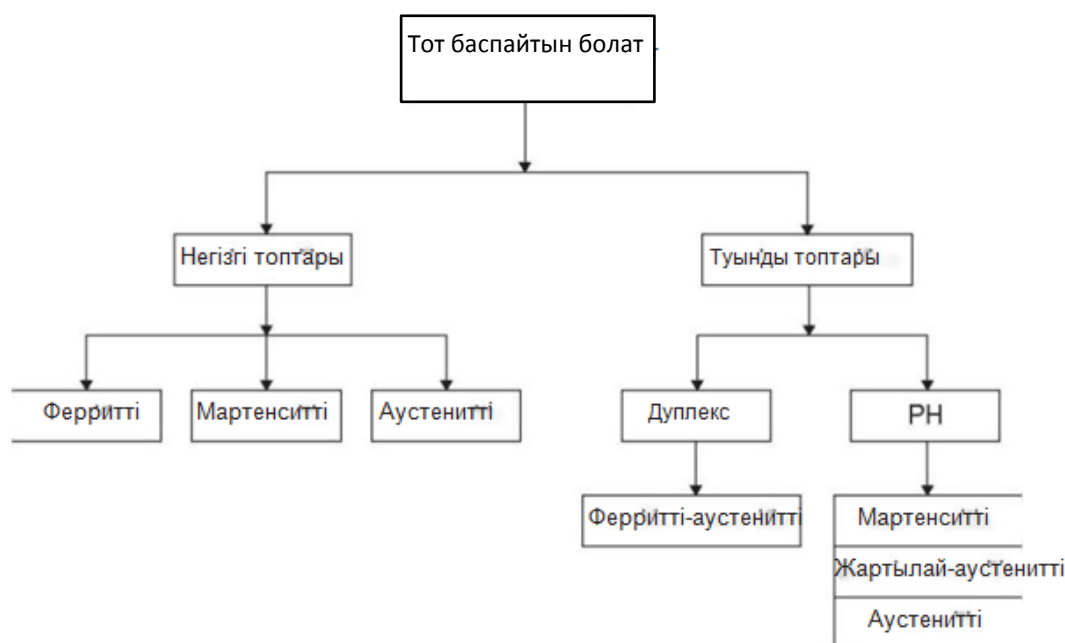
Тот баспайтын болат бірыңғай нақты белгіленген материал болып табылмайды, бұның орнына оның құрамында қоспалауыш элементтердің қосылуына қарай әрқайсысының кең қолдану ауқымы үшін жарайтын өз сипаттамалары, микроқұрылымы, қоспалауыш элементтері мен қасиеттері бар қорытпалардың бірнеше тобы бар.

Тот баспайтын болаттарды жіктеу үшін бірнеше жіктеу сызбалары әзірленді. Америкалық темір және болат институты (АТБИ) және бірыңғай ұлттық стандарт (ҚББЖ) бұл қорытпаларды химия бойынша топтастырды және тот баспайтын болаттарды сәйкестендіретін үш мәнді нөмірді (АТБИ) немесе бес мәнді нөмірді (ҚББЖ) берді. Сәйкесінше, тот баспайтын болаттар бес топқа бөлінеді, үш негізгі топ (ферритті, мартенситті және аустенитті) және екі туынды топ (дуплексті және тотығумен орныққан) (2.2-сур.). Барлығы олардың нақты құрылымына байланысты (2.1, 2.2, 2.3, 2.6 және 2.7-кестелер)

2.2.1 Тот баспайтын болаттардың негізгі қорытпалары (ферритті, мартенситті және аустенитті)

Олар үш санаттан тұрады.

2.2.1.1 АТБИ-белгіленудегі ферритті тот баспайтын болаттар



2.2-сурет. Тот баспайтын болаттардың негізгі (стандартты) және туынды топтары.

2.1-кесте. АТБИ және БҰС белгілеулеріне сәйкес таңдалған еркін және еріксіз өңделген ферритті тот баспайтын болаттар

АТБИ (БҰС)-белгіленуі	Құрамы (масса %)										Ескертулер
	C	Mn	Si	P	C	Cr	Ni	Mo	N	Басқалары	
<i>Ферритті қорытпалардың еріксіз өңделуі 405 (S40500)</i>											
409 (S40900)	0,08	1	1	0,04	0,03	11.5-14.5					0.1-0.3 Al
	0,08	1	1	0,045	0,045	10.5-11.75	0,5	—	—		(6 C-0.75) Ti
430(S43000)	0,12	1	1	0,04	0,03	16-18		0,75-1,25			Mo әсерінен жемірілуге қарсылықты жақсарту
434 (S43400)	0,12	1	1	0,04	0,03	16-18			—	—	Cr арқасында жемірілуге төзімділікті жақсарту
442 (S44200)	0,2	1	1	0,04	0,03	18-23	0,5		0,025		[0.2 + 4 (C + N)] - 0,8 = Ti + Nb
444(S44400)	0,025	1	1	0,04	0,03	17.5-19.5	1	1,75-2,5	0,25		Cr әсерінен жемірілуге қарсылықты жақсарту
446 (S44600)	0,2	1,5	1	0,03	0,03	23-27	—	—			
<i>Еркін өңделген ферритті қорытпалар [ХМ-34] (S18200) (S18235)</i>											
	0,08	1.25-2.5	1	0,04	0.15 мин	17.5-19.5		1.5-2.5			
	0,025	0,5	1	0,03	0,15-0,35	17.5-18.5	1	2-2.5	0,025		0.3-1 Ti
430 F (S43020)	0,12	1,25	1	0.06	0.15 мин	16-18		0.6 мин			Ti Mo-ның жемірілуге төзімділігін арттыру үшін (опционалды)
430 FSe (S43023)	0,12	1,25	1	0.06	0,06	16-18	—	—	—		0.15 min Se

АТБИ –мен қолданылатын белгі

2.2-кесте. АТБИ және БҰС белгілеулеріне сәйкес таңдалған еркін және еріксіз өңделген мартенситті тот баспайтын болаттар

АТБИ (БҰС)- белгілену	Құрамы (масса %)										Ескертулер
	C	Mn	Si	P	C	Cr	Ni	Mo	N	Басқалары	
<i>Еріксіз өңделген мартенситті қоспалар</i>											
403 (S40300)	0,15	1	0,5	0,04	0,03	11.5-13					
410(S41000)	0,15	1	1	0,04	0,03	11.5-13	—	—	—	—	
414 (S41400)	0,15	1	1	0,04	0,03	11.5-13.5	1.5-2.5	—	—	—	
420(S42000)	0.15 мин	1	1	0,04	0,03	12-14	—	—	—	—	STAVAX
(S42010)	0,15-0,3	1	1	0,04	0,03	13.5-15	0.25-1	0.4-1	—	—	TrimRite
431 (S43100)	0,2	1	1	0,04	0,03	15-17	1.25-2.5	—	—	—	
440 A (S44002)	0,6-0,75	1	1	0,04	0,03	16-18	—	0,75	—	—	
440 B (S44003)	0.75-0.95	1	1	0,04	0,03	16-18	—	0,75	—	—	
440 C (S44004)	0.95-1.2	1	1	0,04	0,03	16-18	—	0,75	—	—	
<i>Механикалық өңделмеген мартенситті қоспалар 416</i>											
(S41600)	0,15	1,25	1	0,06	0.15 мин	12-14		0,6			
[XM-6] (41610)	0,15	1.5-2.5	1	0,06	0.15 мин	12-14	—	0,6	—	—	Ұлғайтылған m/c-ing нұсқа (Mn)
416 Se (S41623)	0,15	1,25	1	0,06	0,06	12-14					0.15 мин Se
420 F (S42020)	0.15 мин	1,25	1	0,06	0.15 мин	12-14	—	0,6	—	—	
420 FSe (S42023)	0,3-0,4	1,25	1	0,06	0,06	12-14	—	0,6	—	—	0.5 мин Se, 0.6 Zr немесе Cu
440 F (S44020)	0.95-1.2	1,25	1								
440 FSe (S44023)	0.95-1.2	1,25		0,04	0.1-0.35	16-18	0,75	0,4-0,6	0,08		
			1	0,04	0,03		0,75				0.15 min Se
						16-18		0,6	0,08		

[] АТБИ-мен қолданылатын белгі.

2.3-кесте. АТБИ және БҰС белгілеулеріне сәйкес таңдалған еркін және еріксіз өңделген аустенитті тот баспайтын болаттар

АТБИ (БҰС)- белгіленуі	Құрамы (масса %)										Ескертулер
	C	Mn	Si	P	CCr	Ni	Mo	N	Басқалары		
<i>Аустенитті қорытпаларды еріксіз өңдеу</i>											
201 (S20100)	0,15	5.5-7.5	1	0,06	0,03	16-18	3.5-5.5	—	0,25	—	Нитроник 50
[XM-19] (S20910)	0,06	4-6	1	0,04	0,03	20.5-23.5	11.5-13.5	1.5-3	0.2-0.4	0.1-0.3 Nb, 0.1-0.3 V	
[XM-11] (S21904)	0,04	8-10	1	0,06	0,03	19-21.5	5.5-7.5	—	0,15- 0,4	—	Нитроник 32 [18-2- Mn]
[XM-28] (S24100)	0,15	11-14	1	0,06	0,03	16.5-19.5	5.0-2.5	—	0.2- 0,45	—	
18-18 Плюс (S28200)	0,15	17-19	1	0,045	0,03	17-19	—	0.5-1.5	0.4-0.6	0.5-1.5 KР	—
310(S31000)	0,15	2	1	0,045	0,03	16-18	6-8	—	—	—	Өңдеудің жоғары жылдамдығы
302(S30200)	0,15	2	1	0,045	0,03	17-19	8-10	—	—	—	Әлемдегі ең жиі қолданылатын ТБ Пісірілетін нұсқасы
304 (S30400)	0,08	2	1	0,045	0,03	18-20	8-10	—	—	—	
304 L (S30403)	0,03	2	1	0,045	0,03	18-20	8-12	—	—	—	Екінші кең қолданылатын аустенитті ТБ
[XM-21] (S30452)	0,08	2	1	0,045	0,03	18-20	8-10.5	—	0.16- 0,3	—	
305 (S30500)	0,12	2	1	0,045	0,03	17-19	10-13	—	—	—	Пісірілетін нұсқасы
309 (S30900)	0,12	2	1	0,045	0,03	22-24	12-15	—	—	—	
309S (S30908)	0,08	2	1	0,045	0,03	22-24	12-15	—	—	—	
310 (S31000)	0,25	2	1	—	0,03	24-26	19-22	—	—	—	
310S (S31008)	0,08	2	1	0,045	0,03	24-26	19-22	2-3	—	—	
316 (S31600)	—	—	—	0,045	0,03	—	10-14	2-3	—	—	
—	0,08	2	1	—	—	16-18	—	—	—	—	
316 L (S31603)	0,03	2	1	0,045	0,03	16-18	10-14	2-4	—	—	
317 (S31700)	0,08	2	1	0,045	0,03	18-20	11-15	—	—	5x C = Ti	
321(S32100)	0,08	2	1	0,045	0,03	17-19	9-12	—	—	10x C = Nb	

347 (S34700)	0,08 2	1	0,045 0,03	17-19	9-13	2-3	—	(8 C - 1) = Nb, 3 ¹ Cu	
[20Cb-3] (N08020)	0,07 2	1	0,045 0,035	19-21	32-38				
<i>Еркін өңделген аустенитті қоспалар</i>									
[XM-1] (S20300)	0,08 5-6	1	0,04 0,1-0.35	16-18	5-6.5	0,5	—	1.75-2.25 Cu	
303(S30300)	0,15 2	1	0,2 0,15 мин	17-19	8-10	0,6 —		Mo (опционалды)	
[XM-5] (S30310)	0,15 2.5 ^{1.5}	1	0,2 0,25 мин	17-19	7-16	0,75	—	—	
303 Se (S30323)	0,15 2	1	0,2 0,06	17-19	8-10	—	—	0.15 min Se	
303 Cu (S30330)	0,15 2	1	0,15 0,1	17-19	6-10	—	—	2.5 ¹ Cu, 0.1 Se	
[xm-2] (S30345)	0,15 2	1	0,05 0.11-0.16	17-19	8-10	0,4-0,6 —		0.6-1 Al	
[XM-3] (S30360)	0,15 2	1	0,04 0.12-0.3	17-19	8-10	0,75	—	0.12-0.3 Pb	
316 F (S31620)	0,08 2	1	0,2 0.1 мин	17-19	12-14	1.7-2.5 —		—	

□АТБИ-мен қолданылатын белгі.

Олардың құрамында көміртек деңгейі төмен 0,12% (0,2% С кезінде 442 және 446) және Сг мөлшері (10,5-27%) жоғары, және басқа қоспалауыш элементтердің мөлшері салыстырмалы түрде аз. 442 және 446 қорытпалардағы Сг-ның жоғарырақ деңгейі олардың жемірілуге және тотығуға төзімділігіне ықпал етеді. Молибденді әсіресе құрамында хлорид бар ерітіндіде жемірілуге төзімділікті жақсарту үшін 434 және 444 қорытпаларға қосады. Ферритті қорытпалар о-хромның және пісіру кезінде тұнбаға түсіп кетуі мүмкін интерметалл фазаның қатысуымен ыдырап кетуі мүмкін.

Бұл маркалар магниттік болып табылады және термиялық өңдеумен беріктендірілуі мүмкін; алайда олар суық өңдеумен беріктендірілуі мүмкін, бірақ аустенитті қоспалар сияқты емес (2.3-сур.). Ферритті қоспаларда аустениттіге қарағанда жемірілуге төзімділігі төмен. Оларды әдетте беріктікті таңдамайды. Жасытылған күйде олардың САШ (созу кезіндегі аққыштық шегі) 275-350 МПа.

2.1-кестедегі соңғы төрт қорытпа еркін өңделген ферритті қорытпалар болып табылады, себебі олар еркін өңдеу қоспаларынан тұрады.

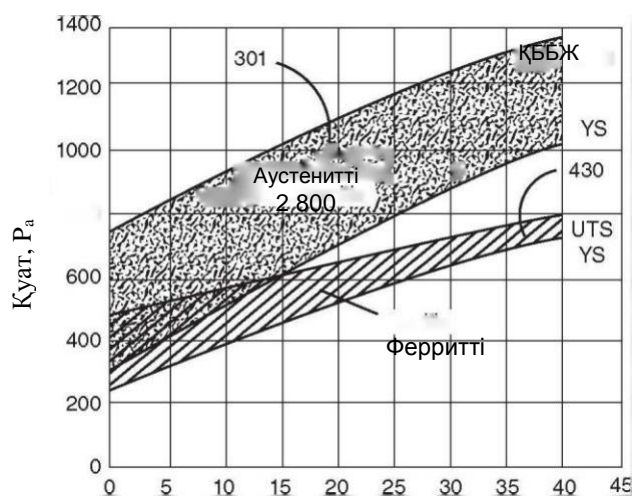
Ферритті қоспалар тот баспайтын болаттардың ең арзан типі болғандықтан олар ТБ-қорытпа қажет болған кезде бірінші кезекте қарастырылуы тиіс. Ферритті тот баспайтын болаттар негізінде ас үй және мейрамхана жабдығы, автокөлікті теңестіру жабдығы, жылытқыштар, тәрелке шайбасы және қыздыру кәрзеңкесі сияқты жабдықтарда құрылымсыз пайдалану үшін қолданылады.

2.2.1.2 Мартенситті тот баспайтын болаттар, маркалары, АТБИ-белгіленуі

400-серия [403-410-414-416-420-422-431-440] (2.2-кесте).

Мартенситті қорытпалар ферритті және аустенитті сұрыптармен салыстырғанда көміртектің салыстырмалы жоғары деңгейіне (0,15-1,2% С) ие және Сг деңгейі 11,5%-дан 18%-ға дейін. МО (<1%) механикалық қасиеттерін және жемірілуге төзімділігін жақсартты (ҚББЖ-42010) деп айтуға болады. Никель (<2,5%) де дәл сол себептен қосылуы мүмкін (4

14 және 431).



Салқынның азаюы, % ауданның азаюы

2.3-сурет. Ферритті 430 және аустенитті 301 тот баспайтын болатты суықпен өңдеу жылдамдықтарын салыстыру (АМҚ-дан алынған[1].)

Мартенситті қорытпалар да магниттік болып табылады. Олар басқа екі сынып сияқты жемірілуге онша төзімді емес. Жасытылған күйде аққыштық шегі шамамен 275 МПа-ды құрайды, осылайша, бұл қорытпалар ферритті қорытпалар сияқты суықпен өңдеу арқылы орташа беріктендірілуі мүмкін. Алайда шынықтыру және босату кезінде олардың аққыштық шегі бірінші кезекте көміртек мөлшеріне қарай 1900 МПа-ға артады. Жасытылған күйде олар механикалық өңдеуге жіберіледі. 2.2-кестедегі соңғы жеті қорытпа еркін өңделген мартенситті қоспалар болып табылады, себебі S немесе Se-нің еркін өңделген қоспаларының едәуір мөлшерін құрайды (әрқайсысы ең кем дегенде 0,15%).

Мартенситті қорытпалар ферриттіге қарағанда әдетте аустениттеу, шынықтыру, кернеуді алу және босатудан тұратын қосымша термиялық өңдеу есебінен 1,5 есе қымбат тұрады. Мартенситті

қорытпалар ас үй құралдары, хирургиялық құралдар, клапан, тойтарма, бұрамашеге, қол аспаптары, көкөніс ұсақтағыш, ұстара жүзі, винтовка оқпаны, тау-кен қазу техникасы, бұрандама (болт), сомын және авиациялық фитинг сияқты жабдықтарда қолданылады.

2.2.1.3 Аустенитті тот баспайтын болаттардың АТБИ-белгіленуі

300-серия [Fe-Cr-Ni] 200-серия [Fe-Cr-Mn] (2.3-кесте).

Бұл санат тот баспайтын болат өндірісінің жалпы көлемінің 70%-дан астамын құрайды. Аустенитті тот баспайтын болаттың құрамында ең көп дегенде 0,15% С, ең аз дегенде 16% Cr және криогендік аймақтағы барлық температурадан қорытпаның балку температурасына дейін аустенитті құрылымды сақтау үшін Ni және/немесе Mn-нің жеткілікті мөлшері бар. Бұл қорытпалар термиялық өңдеумен беріктендірілуі мүмкін және де олар магниттік емес. Осылардың бәрі жемірілуге өте жақсы төзімділігін көрсетеді, бірақ олар кернеулі күйде жемірілуге бейім (Mo хлоридтерге қарсылық келтіру үшін қосылған). Аустенитті тот баспайтын болаттар барлық ТББ-дан созымды; сәйкесінше оларды оңай қалыптауға болады, оған ФКК тән. Алайда суық жұмыс көбейген жағдайда, олардың қалыпталуы және созымдылығы азаяды және едәуір күшейеді (2.3-сур.). Белгілі 304-қорытпаның (сондай-ақ 18% Cr мен 8% Ni 18-8-құрамы ретінде белгілі) суық жұмыстың аз мөлшеріне (15%) реакциясы 2.4-кестеде көрсетілген.

Аустенитті қорытпалар сумен шынықтыру жағдайларында жиі қолданылады, онда сумен шынықтыру қорытпаны қатты ерітіндіде ұстап тұру үшін қолданылады. Шынықтыру кезінде фазалық ауысу жүрмейді, себебі аустенит барлық температураларда тұрақты фаза болып табылады.

Аустенитті қорытпалардың жемірілуге төзімділігі қорытпаның құрамына байланысты жақсыдан өте жақсыға ауысады. Өте жоғары Cr, Ni, Mo немесе Cu жемірілуге және тотығуға қарсылығы жақсарды деп айтуға болады [316, 317, 309, 310, және ҚББЖ-N08020]. Соңғысы оны сусымалылыққа өте жоғары беріктігімен белгілі Ni негізіндегі ыстыққа төзімді қорытпа деп жіктеуге болатындай, онда Ni деңгейі жеткілікті түрде жоғары. Жоғары температурада әсер етуден кейін кристаллитаралық коррозияның алдын алу үшін Ti-ді немесе 321 және сияқты қорытпаларда көміртекті тұрақтандыру үшін Nb-ді қосады.

2.4-кесте. Суда шынықтыру кезінде және суық илемделген күйде АТБИ 304 тот баспайтын болаттың аққыштық шегі және созылуға беріктілігі

АТБИ 304	Сумен шындау	15% суықтай басылған
ИТС (МПа)	260	805
УТС (МПа)	620	965
Ұзаруы, % (50 мм)	68	11

ИТС: шығу созылуға беріктігі және УТС: созылуға соңғы беріктігі.

Дереккөз: DeGarmo өндірісінің материалдары мен процестерінен алынған[2].

304 және 309 қ.к. сияқты пісірілетін қорытпалар жасау үшін көміртек деңгейі төмен мәндерге дейін азайтылады.

Аустенитті тот баспайтын болаттар екі топқа бөлінеді (2.3-кесте). Олар:

1. АТБИ-белгіленуіндегі стандартты топ (300-сериялы), мұндай Ni – аустенитті тұрақтандырғыш. Cr, Ni жеткілікті мөлшерімен тот баспайтын болат жасауға болады, онда аустенит температураның барлық диапазонында 301, 302 және сол сияқты ретінде тұрақтандырылған. Азотты Cr-Ni стандарт тобында [XM-21] ретінде күшеюін қамтамасыз ету үшін де қолдануға болады (2.3-кесте).
2. Mn-топ АТБИ белгіленуіндегі (200-сериялы), мұнда әдетте N деңгейі жоғары Mn-нің едәуір мөлшері қосылады, және көп жағдайда N, мысалы [XM-11], [XM-19], [XM-28] және ҚББЖ28200 қосылады (2.3-кесте).

2.3-кестедегі соңғы сегіз қорытпа еркін өңдеу нұсқалары болып табылады, себебі олар S және Se сияқты еркін өңделген қоспалардан тұрады.

Аустенитті қоспалар қымбат тұратын болғандықтан, оларды одан арзанырақ ферритті немесе мартенситті қоспаларды қолдану орынды болатын жағдайларда көрсетудің қажеті жоқ. Стандартты 300 сериялы аустенитті қоспалар құрамында қымбат қоспалауыш элементтер (Ni және Cr) болуы себебінен ферритті қоспалардан екі есе қымбат тұруы мүмкін. Қымбат емес, сапасы төмен қорытпа жасау үшін Mn мен N (200-сериялы) кейбір Ni үшін ауыстырылды.

Аустенитті қорытпалар ас үй ыдыстарында, келтеқосқыштарда, пісірілген конструкцияларда, жеңілдетілген көлік құралында, пеш пен жылу алмастырғыш аппаратының бөліктерінде және бірнеше химиялық қоршаған ортаға арналған жабдықта әртүрлі қолданылады. 304 аустенитті ранг әлемде ең қарапайым қолданылатын ТББ. Керемет қалыптануы және пісіру сипаттамалары оны индустрияда, сәулетте және тасымалдауда көп қолданылатын стандарты болат етеді.

316-класс екінші ең жиі қолданылатын аустенитті ТББ болып табылады. 304 сияқты ол да керемет қалыптану сипаттамаларына ие, бірақ оған қосылған Mo 316-ға жақсартылған жемірілуге төзімділік береді, сондықтан ол әдетте «теңіз болат рангі» деп саналады. Оның төмен көміртекті 316 L нұсқасы да пісіруден кейін түйіршіктер арасындағы шекте карбидтің төгіліп қалуынан сақталған.

2.5-кестеде ТББ негізгі қорытпаларының әдеттегі құрамдары соңғы рет жалпыланған. Тот баспайтын болат ие болатын микроқұрылым бірінші кезекте оның құрамына байланысты, онда Cr мен Ni қорытпаларының негізгі компоненттері өте маңызды болып табылады. Шындығында, өзгеріс кеңінен болуы мүмкін, не аустенитті, не ферритті тұрақтандыруға тырысатын басқа қоспалауыш элементтердің әсері болуы мүмкін.

2.5-кесте. Негізгі ферритті, мартенситті және аустенитті ТББ-ның әдеттегі құрамы (мас.%)

Элемент	Ферритті (оок)	Мартенситті (оок)	Аустенитті (гцк)
Көміртек	0.08-0.2	0.015-1.2	0.03-0.25
Хром	11-27	11.5-18	16-26
Никель	0-1	0-2.5	3.5-22
Марганец	1-1.5	1-1.5	2 (серия 200, 5.5-10)
Кремний	1	1	1-1.5
Молибден	0-2.5	0-1	Жекелеген жағдайлар:
Фосфор мен серфур	0,075	0,075	0,075
Титан	0-1	—	0-0.4

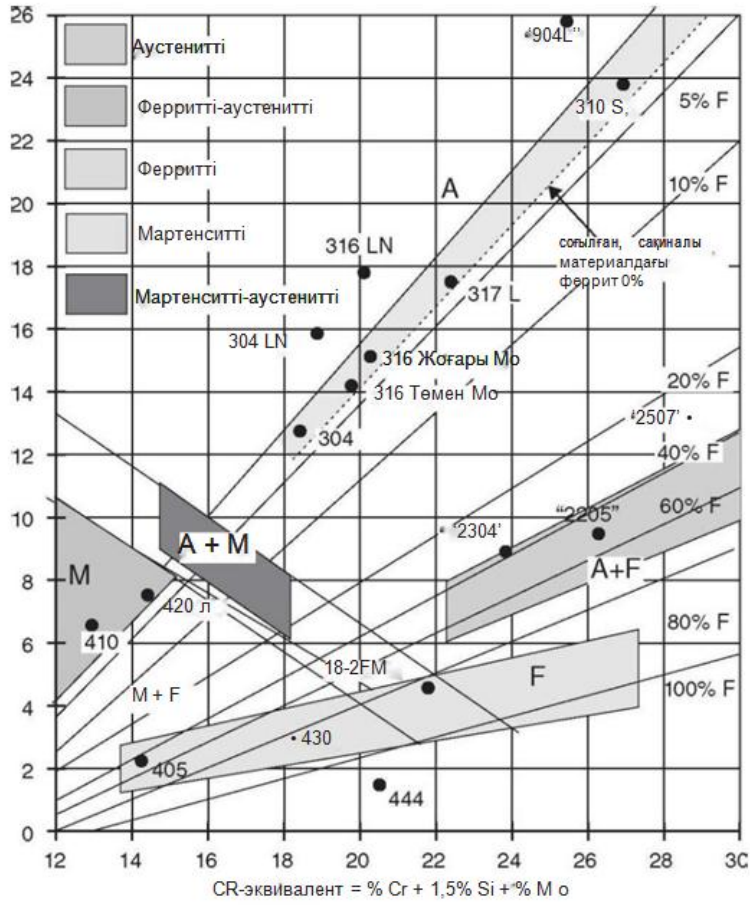
S (немесе Se) ең аз мөлшері 0,15%-ды құрайды. Degarmo et al. алынған [2].

Қоспалауыш элементтердің ТБ құрылымына әсері Шаффлер-Делонг диаграммасында жалпыланған (2.4-сур.). Осылайша, Шаффлер-Делонг диаграммасына төмендегідей Cr және Ni-эквиваленттерді бере отырып, қоспалауыш элементтердің ферритті аустенитті тұрақтандырғыш эффектісін есептеп шығару мүмкін болады:

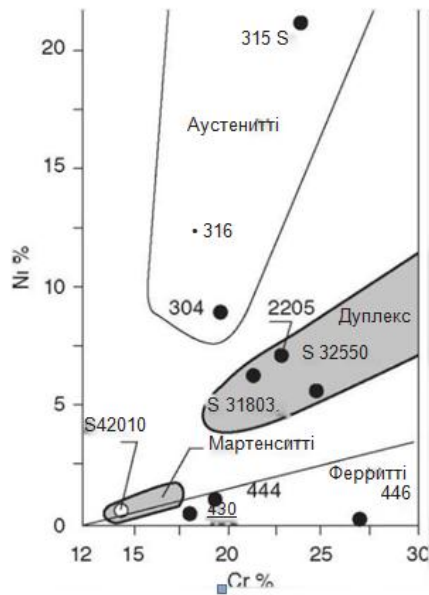
$$CR\text{-эквивалент} = \%Cr + 1,5\% Si + \% Mo Ni\text{-эквивалент} = \% Ni + 30 (\%C + \% N) + 0,5 (\% Mn + \% Cu + \% Co)$$

Әртүрлі диаграммалар айырмашылығы аз эквиваленттермен, фазалық шектеулермен немесе жалпы құрастырумен жарияланды. 2.5-суретте ТББ-ның кейбір әртүрлі типтерінің орналасқан орнын сәйкестендіруге арналған ең оңайлатылған диаграммалардың бірі көрсетілген.

$$\text{Ni-эквивалент} = \% \text{Ni} + 30 (\% \text{C} + \% \text{N}) + 0,5 (\% \text{Mn} + \% \text{Cu} + \% \text{Co})$$



2.4-сурет. Шаффлер-Делонг диаграммасы.



2.5-сурет. CR және Ni-пайыздарының типіне қарай тот баспайтын болат қорытпаларының микрорұрылымы

2.6-кесте. АТБИ және ҚББЖ белгіленулеріне сәйкес таңдалған дуплексті тот баспайтын болаттар. Еркін өңдеуден тұрмайтын дуплексті қорытпалар (олардың нұсқалары)

АТБИ (ҚББЖ)- белгіленуі	Құрамы (масса %)										Ескертулер	
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Басқалары		
(S31803)	0,03	2	1		0,03	0,02	21-23	4.5-6.5	2.5-3.5	0.08-0.2	—	2205
(S32550)	0,04	1,5	1		0,04	0,03	24-27	4.5-6.5	2-4	0,1-0,25		1.5-2.5 Ферралий
											Cr	
329 (S32900)	0.2	1	0,75		0,04	0,03	23-28	2.5-5	1-2	—	—	—
(S32950)	0,03	2	0,6		0,035	0,01	26-29	3.5-5.2	1-2.5	0,15-	—	7-Mo Plus
										0,35		

2.2.2 Тот баспайтын болаттардың өндірістік қоспалары (дуплекс, рН-қорытпалар)

Олар келесі екі санаттан тұрады:

Екі айналдырғы қорытпалар: Белгіленуі 2.6-кестеде келтірілген.

Олар 21-29% Cr және 2,5-6,5% Ni құрайды (2.5-сурет). Ферритті / аустенитті микроқұрылым алу үшін оларды 960-тан 1020°C-қа дейінгі температурадағы суда шынықтырады; сәйкесінше олар магниттік. Дуплексті қорытпалар жасытылған күйде 550 МПа-ға жуық (созылу күші) СК-не ие, бұл суда шынықтырылған стандартты аустенитті қорытпаға қарағанда екі есе көп. Әдеттегідей, олар жақсы серпімділікке және соққы тұтқырлығына, сондай-ақ аустенитті қорытпаларға қарағанда кернеумен жемірілуге де, жеміріліп шытынауға да жоғары төзімділікке ие. Ең кең таралған 309 дуплексті қорытпаның қажетті ферритті-аустенитті теңгеріміне (1:1) Cr-ды (23-28%), Mo (1-2%) және жеткілікті Ni-ді (2,5-5%) қосу арқылы қол жеткізіледі.

Беріктендіру үшін азот қосады (ҚББЖ-31803, ҚББЖ-32950) (2.6-кесте).

Екі айналдырғы қорытпалар санаттарды ешқандай еркін механикалық өңдеуге ұшыратпайды.

Екі айналдырғы қорытпаларды су тазарту зауыттарында да, жылу алмастыру аппаратында да әдеттегі пайдалану. Ол химиялық, тағам, медициналық және қағаз өнеркәсібінде, сондай-ақ қышқыл мен хлор қолданылатын процестерде және оффшорлық мұнай-газ өнеркәсібіне байланысты жабдықта қолданылады.

Дисперсиялық-беріктенетін қорытпалар: Белгіленулері 2.7-кестеде келтірілген.

Бұл қорытпалар Cu, Al, Ti, Nb немесе Mo-мен қатар Cr мен Ni-ден тұрады. Молибденді механикалық қасиеттері мен жемірілуге төзімділігін жақсарту үшін қосады. Жалпы бұл қорытпалар жоғары температурада өте серпімді. Cu да жемірілуге төзімділікті жақсарту үшін қосылған (ҚББЖ-45000). Беріктенетін (РН) қорытпалар тұнбалар әртүрлі беріктік деңгейіне дейін реті бойынша беріктелуге қабілеттілігімен сипатталады. РН-қорытпаларда аққыштық шек 1700-ге дейін жетуі мүмкін. Ескіруге дейін суықпен өңдеу бұдан да жоғары аққыштық шегіне алып келеді.

Бұл қорытпалар әдетте икемділігі мықты, соққы тұтқырлығы мен беріктігі жоғары температурада, қолайлы немесе коррозияға өте төзімді.

Бұл қорытпаларды құрамына қарай (2.7-кесте) төмендегідей бөлуге болады:

1. Мартенситті (магниттік)
2. Жартылай-аустенитті (магниттік)
3. Аустенитті (магниттік емес).

Мартенситті РН-қорытпаларға қарағанда, беріктік пен жемірілуге төзімділіктің ең жақсы үйлесіміне аустенитті және жартылай аустенитті жолдармен қол жеткізіледі. Ең кең таралған РН-қорытпа ҚББЖ-17400 басқа қорытпалар сияқты Cr мен Ni-ден тұрады, және құрамында ескіру үшін Cu және көміртекті тұрақтандыру үшін Nb бар. Дуплекстер сияқты, РН-қорытпалар еркін өңдеу санатына кірмейді, алайда ҚББЖ-17400 қорытпасы ең жақсы өңдеу сипаттамаларына ие (ол дырылсыз жоғары жылдамдықта өңделеді). ҚББЖ-35500 сияқты жартылай аустенитті рН-қорытпаны қоспағанда, көміртек әдетте қажетті фазалық ауысуды қамтамасыз ету үшін шектелген. Қосымша қорытпалар және қосымша өңдеу

pH-қорытпаларды ең қымбат тот баспайтын болаттардың бірі етеді, сондықтан оларды өте қажет болған кезде ғана қолданған жөн.

Бұл қорытпалар әуе кемелерінде, әуе-ғарыш кеңістігінде және құрылымдық компоненттерде негізгі қолданысқа ие.

17-7 РН (ҚББЖ 17700) өте берік қорытпа коррозияға жақсы төзімділікпен қатар жоғары беріктік қажет етілетін серіппелерде, қысымда тұрған ыдыстарда жиі қолданылады.

2.3 Қорытынды ескертпелер мен салыстыру сипаттамалары

Қорытындылай келе, әртүрлі ТББ-қорытпаларға қатысты келесі ескертулер мен салыстыру сипаттамаларын атап өтуге болады:

Хромий тот баспайтын болатты басқа болаттардан бөлек орнатады. Болаттағы бірегей өздігінен қалпына келетін пассивті беттік қабат хром оксидінің нәтижесі болып табылады. Коммерциялық тұрғыда қолжетімді сұрыптар құрамында шамамен 11% Cr бар және олар көміркті диапазонды бақылауға қарай ферритті немесе мартенситті болуы мүмкін. Көп Cr жемірілуге және тотығуға қарсылықты көбейтеді.

Cr-ның 20%-дан астам деңгейі дуплекс пен жоғары қоспаланған аустениттер үшін суға жемірілуге жақсы төзімділікті қамтамасыз етеді. Бұдан бөлек, никель тот баспайтын болатта қолданылуы мүмкін экологиялық мүмкіндіктер ауқымын кеңейтеді.

2% Ni-ді АТБИ-421 мартенситті типке қосу жемірілуге төзімділікті аз ғана жақсартады. 4,5-6,5% Ni қоспалары дуплексстің коррозияға төзімділігін едәуір жақсартады, коррозияға төзімділік тек Ni деңгейімен байланысты емес. Құрамында 5% Ni бар дуплекс 8% Ni бар аустенитті АТБИ-304-ке қарағанда жемірілуге жақсы төзімділікке ие.

Қорытпаның өте ерекше қоспалары да жемірілуге төзімділікті арттыру үшін жасалған. Олар питтинг пен саңылаудың жемірілуге төзімділігіне арналған Mo мен N-нен тұрады. АТБИ-316 бірінші кезекте мойынтіректің Mo аустенитті қорытпасы. Қазіргі таңда қолжетімді дуплекссті маркалардың көбісі Mo элементтерінен де, N-нен де тұрады. Мыс та күкірт қышқылы концентрациясының аралық диапазоны сияқты зиянды орталарда жемірілуге төзімділікті арттыру үшін қолданылады. Құрамында Cu бар маркалар аустенитті 18-18 Plus (S28200) тұрады.

Тек мартенситті тот баспайтын болаттар ғана басқа қоспаланған болаттар сияқты термиялық өңдеумен қатайтылған. ПЭ-аш-ССС термиялық өңдеумен күшейтілген, бірақ олар мартенситті типтерге әртүрлі механизм қолданады. Ферритті, аустенитті және дуплекссті типтер термиялық өңдеумен беріктенуі мүмкін емес, бірақ беріктену механизмі ретінде суық жұмысқа әртүрлі әсер етеді.

Ферритті типтер қоршаған орта температураларында пайдалы механикалық қасиеттерге ие, бірақ аустениттілерге қарағанда созымдығы шектеулі. Олар криогендік пайдалану үшін жарамайды және 600°C-қа жуық жоғары температура жағдайында беріктігінен айрылады, бірақ олар автокөліктің газ шығару жүйесі ретінде өте сәтті пайдаланылды. Аустенитті типтер өздеріне тән FCC-тормен белгілі бір қасиеттерге ие. Механикалық түрде олар барынша созымды және криогендік температуралар әсерінде қатты болады. Олар магниттік емес. Сондай-ақ олар тот баспайтын болаттардың басқа типтеріне қарағанда өте төмен жылу өткізгіштігімен және өте жоғары жылулық кеңею жылдамдығымен сипатталады.

Аустенит пен ферриттің аралас құрылымына ие дуплекссті типтер осы типтердің кейбір қасиеттерімен ерекшеленеді, бірақ негізінде олар ферритті немесе аустенитті типтерге қарағанда механикалық жағынан күштірек.

2.7-кесте АТБИ және БҰС белгіленулеріне сәйкес, шынықтырылған тот баспайтын болаттарды тұндыру таңдалады. Еркін өндеуден тұрмайтын РН-қорытпалар (олардың нұсқалары)

АТБИ (БҰС)- белгіленуі	Құрамы (масса %)										Ескертулер	
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Басқалары		
<i>Мартенситті РН-қорытпалар [ХМ-13]</i>												
(S13800) 0,05		0,2		0,1	0,01	0,008	12.25-13.25	7.5-8.5	2-2.5	0,01	0.9-1.35 А1	РН13-8Мо
[ХМ-12] (S15500) 0,07	0,07	1	1	0,04	0,03	14-15.5	3.5-5.5	—	—	—	0.15-0.45 Nb, 2.5^1.5 Cu	РН 15-5
(630)(S17400) 0,07	0,07	1	1	0,04	0,03	15.5-17.5	3-5	—	—	—	0.15-0.45 Nb, 3-5 Cu	17^1 РН
[ХМ-25] (S45000) 0,05	0,05	1	1	0,03	0,03	14-16	5-7	0.5-1	—	—	(механикалық өндеуге ұшыраған ұлғайтылған	Пайдалану шы 450
[ХМ-16] (S45500) 0,5	0,5	0,5	0,5	0,04	0,03	11-12	7.5-9.5	0,5	—	—	0.1-0.5 Nb, 1.5-2.5 KР, 0.8-1.4 Ti	Пайдалану шы 455
<i>Жартылай аустенитті рН-қорытпалар:</i> Мартенситті РН-қорытпаларға қарағанда, беріктік пен жемірілуге төзімділіктің ең жақсы үйлесімі												
(631) (S17700) 0,09	1	1	0,04	0,04	16-18	6.5-7.75	—	—	—	—	0.75-1.5 А1	17-7 РН
(633) (S35000) 0.07-0.11	0.5-1.25	0,5	0,04	0,03	16-17	4-5	2.5-3.25	0.07-0.13	—	—	Қатты қызған жағдайда жеткізілсе, ең жақсы өңделеді	Пайромет 350
(634) (S35500) 0.1-0.15	0.5-1.25	0,5	0,04	0,03	15-16	4-5	2.5-3.25	0.07-0.13	—	—	Қатты қызған жағдайда жеткізілсе, ең жақсы өңделеді	Пайромет 355
<i>Аустенитті рН-қорытпалар:</i> Мартенситті РН-қорытпаларға қарағанда, беріктік пен жемірілуге төзімділіктің ең жақсы үйлесімі												
(660) (S66286) 0,08	2	1	0,04	0,03	13.5-16	24-27	1-1.5	—	—	—	1.9-2.35 Ti, 0.1-0.5 V 0.35 Al, 0.001-0.01 B,	Нашар өңделімділік

АОИМ пайдаланылатын белгілеу және () АИЖС пайдаланылатын белгілеу

Олардың типіне және термиялық өңдеу шарттарына қарай тот баспайтын болаттар қалыптануға қабілетті және өңделеді. Тот баспайтын болаттарды да қалыпқа тастауға немесе қалыпқа соғуға болады. Қолжетімді типтерінің көбісі дәнекерлеу мен пісіруді қоса алғанда, тиісті термиялық әдістерді пайдалану арқылы жалғануы мүмкін.

Аустениттер жалпақ бұйымдарды қалыптауды қоса алғанда кең ауқымда пайдалануға жарайды (сығымдау, созу, тарту, иіру және т.б.). Ферритті және екі айналдырма типтер осы әдістер үшін пайдалы болғанымен, аустенитті қорытпалардың өте жақсы созымдығы және қатты сипаттамасы Ni-деңгей арқылы қадағаланған. Аустенитный АТБИ-301 құрамында Ni мөлшері төмен (7% Ni), сондықтан суықпен өңдеу кезінде жұмыс қатып қалады. Ni-дің 85%-ға жуық мөлшері аустенитті тереңнен тарту операциялары үшін, мысалы тот баспайтын болаттан шұңғылша дайындау кезінде өте жақсы жарайтын етеді.

Мартенситтер оңай қалыптанбайды, бірақ кескіш жүздерді дайындау кезінде кесу үшін кеңінен қолданылады (Сандвик 13C26).

Тот баспайтын болаттардың көбісі дәстүрлі өңделуі мүмкін. Бұл әдістер беруді және жақсы майлау мен суыту жүйесі бар беріктендіретін жұмыс қабаттарын кесу жылдамдығын бақылауды қамтиды. Өндіріс көлемі үлкен жүйелер қолданылған жағдайда тот баспайтын болаттарды еркін механикалық өңдеу талап етілуі мүмкін. Күкірт қосу АТБИ-303 және басқаларда ең жақсы тәсіл болып табылады.

2.8-кесте Тот баспайтын болаттардың әртүрлі типтерінің негізгі артықшылықтары мен кемшіліктерін көрсетеді.

	Түрі	Артықшылықтары	Кемшіліктері
Базалық ТББ-қорытпалар	Феритті	Төмен құны, коррозияға төзімділігі және жақсы қалыптасуы	Аустениттермен салыстырғанда шектелген коррозиялық төзімділігі, қалыптылығы және жоғары температуралық беріктігі
	Мартенситті	Термиялық өңдеу арқылы шындалған	Аустениттермен салыстырғанда шектелген коррозиялық төзімділігі және дәнекерлеуі. Ферриттермен салыстырғанда шектеулі қалыптылық
	Аустенситті	Кең қол жетімді, жақсы және қолайлы коррозияға төзімді, жақсы криогендік беріктігі, тамаша пішімділік және дәнекерлеу	Жұмысты беріктендіру қалыптылық пен өңделімділікті шектеуі мүмкін. кернеу астында жемірлік шытынауға шектеулі беріктік
Туынды ТББ қорытпалар	Екіфазалы	Жақсы коррозия кедергісі кернеулі күйде, жақсы күйдірілген күйдегі механикалық беріктігі	Температура диапазоны аустенитке қарағанда шектеулі
	РН-ТББ Мартенситті 17/4 РН	Қатты термиялық өңдеу, бірақ жақсы негізгі мартенситтерге қарағанда коррозияға тұрақты	Аустениттермен салыстырғанда шектеулі қол жетімділік, коррозиялық төзімділік, шектеулі қалыптылық және дәнекерлеушілік

Ескерту: Еркін механикалық өңделген қорытпалар ТББ-ның тек базалық қорытпаларында ғана қолжетімді. Дереккөз: желідегі инженер. [Ws/OPainlessOPeel selection.htm](http://Ws/OPainlessOPeelselection.htm). [3].

Әдебиетке сілтемелер

- [1] Kosa, T., Ney, R.P. (1989) *AMK Handbook: Machining*, Vol. 16, Materials Park, OH.
- [2] Degarmo, P., Black, J.T., Kohser, R.A. (2012) *DeGarmo's Materials and Processes in Manufacturing*, 11th edn, John Wiley & Sons, Inc.
- [3] <http://engineeronline.ws/stainless.htm> (accessed December 3, 2013).

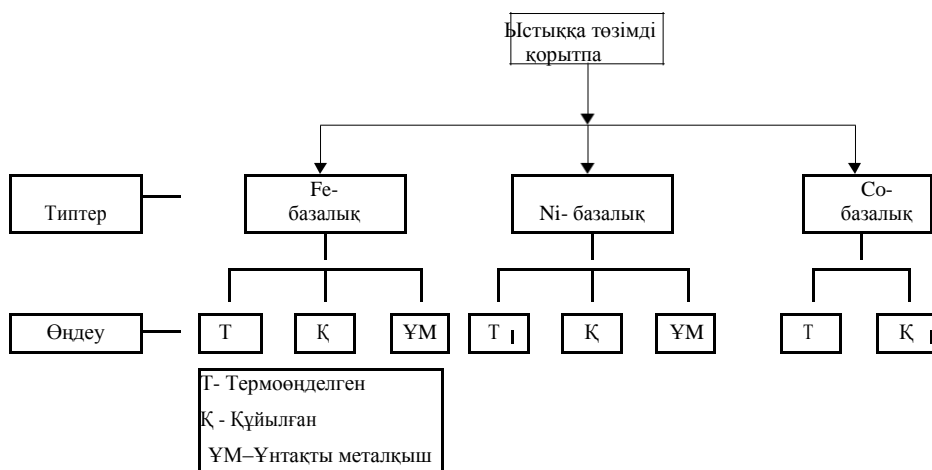
3

Ыстыққа төзімді қорытпалардың түрлері және жіктелуі

3.1 Жалпы сипаттамалары және жіктелуі

Ыстыққа төзімді қорытпалар жоғары механикалық беріктікті, серпімді, сусымалылыққа беріктікті, жоғары қажу беріктілікті және сәйкесінше жоғары температурада жемірілуге және тотығуға керемет төзімділікті көрсететін материалдардың салыстырмалы жаңа класы болып табылады. Бұл қасиеттер ыстыққа төзімді қорытпаларды ұшақтарда, сүңгуір қайықтарда, ядролық реакторларда, металдарды ыстықпен өңдеуге арналған қалыптарда және мұнай-химия жабдығында қолдануда мінсіз етеді. Айта кету керек, қосымшалардың барлығы жоғары температуралық беріктікті талап етпейді. Олардың жемірілуге төзімділікпен үйлескен жоғары беріктігі биомедициналық имплантаттар мен криогендік қолданыс үшін жарайтын кейбір ыстыққа төзімді қорытпалы стандартты материалдарды қолдануға мүмкіндік берді [1].

Бұл қорытпалар Fe-негіздегі Ni негізіндегі және Co-қорытпалар болып табылатын негізгі үш топқа бөлінеді (3.1-сурет). Әр топтың физика-механикалық және механикалық сипаттамалары қорытпаның химиялық құрамына және металлургиялық өңдеуге байланысты түрленеді, ол өндіріс процесінде алынады. Ыстыққа төзімді қорытпалар сондай-ақ соғылған, құйылған және ұнтақты металлургиялық (ҰМ) ыстыққа төзімді қорытпаларға жіктеледі. Пішіні өзгертін қорытпалар қатты ерітіндімен немесе дисперсті-беріктенген қорытпалармен беріктелуі мүмкін. АҚШ-та әзірленген және қолданылатын ыстыққа төзімді қорытпалардың және қорытпалар бөлегін композициялардың көрнекі тізімі 3.1-3.5-кестелерде келтірілген, сондай-ақ 3.2 және 3.3-суретте көрсетілген. Олар әдетте сауда атауы немесе арнайы нөмірлеу жүйелері бойынша сәйкестендіріледі. Ыстыққа төзімді қорытпалардың тиісті композициялары шынықтырылуы, табаққа/шыбыққа илемделуі немесе әртүрлі формаларда басқаша дайындалуы мүмкін. Шток материалы және тақталар – бұл жұмыс істеу мүмкін болатын шикізаттың ең қарапайым формасы. Олар тікелей материал өндірушілерден сатып алынады және біліктерді, төлкелерді және соған ұқсас компоненттерді өндіруге арналған. Аса жоғары қоспаланған композициялар әдетте құймалар түрінде өңделеді (3.3-кесте). Айта кету керек, баяу балкитын металдардың балқуы жоғары, алайда олардың ыстыққа төзімді қорытпалар сияқты қажетті сипаттамалары жоқ және сәйкесінше, олар кеңінен қолданылмайды.



3.1.сурет. Ыстыққа төзімді қорытпаларды жіктеу

Ыстыққа төзімді қорытпалардың құрамында негізгі қоспалауыш элементтер ретінде Ni, Cr, Co, Mo және Fe бар. Басқалары – Al, W, Ti және тағы басқа. Осы қоспалауыш элементтердің рөлі ыстыққа төзімді қорытпалардың сипаттамасын төмендегідей арттыру болып табылады[2, 3]:

- Ni жоғары температураларда қорытпаның құрылымы мен қасиеттерін тұрақтандырады.
- Co, Mo және бұйымның жоғары температура кезінде беріктікті арттырады.
- Cr, Al, Si тотығуға қарсылықты арттырады және жоғары температуралы жемірілуді қамтамасыз етеді.
- C сусымалылыққа беріктікті қамтамасыз етеді.

Алайда айта кету керек, қорытпаның қасиеттері қорытпа химиясына ғана емес, балқыту процедураларына, соғуға және жұмыс процестеріне, құю технологиясына және ең алдымен соғудан немесе құюдан кейін термиялық өңдеуге тікелей байланысты.

Ыстыққа төзімді қорытпалардан жасалған жабындарды жабу технологиясы ыстыққа төзімді қорытпаларды әзірлеу мен пайдаланудың ажырамас бөлігі болып табылады. Жабынның болмауы ыстыққа төзімді қорытпаларды жоғары температурада ұзақ уақыт бойы пайдалануға қабілеттілігі аз екенін білдіреді. Кейбір инженерлік қосымшалар бұл қорытпалардың температуралық шегінен асып кетті, ал басқалары соны мүмкін ететін материалдардың әзірленуін күтуде. Болашақтағы реактивті қозғалтқыштардың газ шығару температурасы 1500°C-тан асады деп болжануда. Мұндай қолдануда ыстыққа төзімді қорытпалар оларды жұмыс ортасынан оқшаулайтын жабындармен қорғалған [4].

3.2 Ыстыққа төзімді қорытпалардың түрлері

Ыстыққа төзімді қорытпалар әдетте аустенитті қабырғалары орталықтанған текшелі тор құрылымымен сипатталады.

Олар үш сұрыпқа бөлінеді: Fe, Ni және Co негізіндегі қорытпалар.

3.1-кесте. Осы кітапта айтылған пішіні өзгерген суперқорытпалардың қатты ерітінділерінде пайдаланылатын номиналды құрамдар және олардың БҰС-белгіленуі (Бірыңғай ұлттық стандарт) (3.2-сурет)

Суперқорытпа (сауда атауы) № БҰС		Құрамы (масса %)										
		Cr	Ni	Co	Mo	W	Nb	Ti	Al	Fe	C	Басқасы
<i>Темір негізіндегі қорытпалар</i>												
М-155 (Малтимет)	R30155	21,0	20,0	20,0	3,0	2,5	1,0	–	–	32,2	0,15	0.15 N, 0.2 La, 0.02 Zr
Хейнс 556	–	22,0	21,0	20,0	3,0	2,5	0,1	–	0,3	29,0	0,10	0.5 Ta, 0.02 La, 0.002 Zr
19-9 DL	K63198	19,0	9,0	–	1,25	1,25	0,4	0,3	–	66,8	0,30	1,10 Mn, 0,60 Si
Инколой 800	N08800	21,0	32,5	–	–	–	–	0,38	0,38	45,7	0,05	–
Инколой 801	N08801	20,5	32,0	–	–	–	–	1,13	–	46,3	0,05	–
Инколой 802	—	21,0	32,5	—	—	—	—	0,75	0,58	44,8	0,35	—
<i>Никель негізіндегі қорытпалар</i>												
Хейнс 214	–	16,0	76,5	–	–	–	–	–	4,5	3,0	0,03	–
Инконель 600	N06600	15,0	76,0	–	–	–	–	–	–	8,0	0,08	0.25 Cu
Инконель 625	N06625	21,5	61,0	–	9,0	–	3,6	0,2	0,2	2,5	0,05	–
Хастеллой Х	N06002	22,0	49,0	<1.5	9,0	0,6	–	–	2,0	18,8	0,15	–
Нимоник 75	–	19,5	75,0	—	–	—	–	0,4	0,15	2,5	0,12	<0,25 Cu
<i>Кобальт негізіндегі қорытпалар</i>												
AiResist 213	–	19,0	<0,5	65,0	–	4,5	–	–	3,5	<0,5	0,17	6.5 Ta, 0.15 Zr, 0.02 Zr
Хейнс 25 (L605)	R30605	20,0	10,0	50,0	–	15,0	–	–	–	3,0	0,10	1,5 мин
Хейнс 188	R30188	22,0	22,0	37,0	–	14,5	–	–	–	<3.0	0,10	0.9 La
S-816	R30816	20,0	20,0	42,0	4,0	4,0	4,0	–	–	4,0	0,38	–
MP-159	–	19,0	25,5	35,7	7,5	–	0,6	–	0,2	9,0	–	0.3 Ti

3.2-кесте. Осы кітапта айтылған беріктендірілген-пішіні өзгерген қорытпаларда пайдаланылатын номиналды құрамдар және олардың БҰС- белгіленуі (3.2-сурет)

Суперқорытпа (фирмалық атауы)	БҰС №	Құрамы (масса %)										
		Cr	Ni	Co	Mo	W	Nb	Ti	Al	Fe	C	Басқасы
<i>Темір негізіндегі қорытпалар</i>												
А-286 (пайромет)	K63198	15,0	26,0	–	1,25	–	–	2,0	0,2	55,2	0,04	0.005 B, 0.3 V
Дискалой	K66220	14,0	26,0	–	3,0	–	–	1,7	0,25	55,0	0,06	–
Инколой 903	–	<0,1	38,0	15,0	0,1	–	3,0	1,4	0,7	41,0	0,04	–
Инколой 907	–	–	38,4	13,0	–	–	4,7	1,5	0,03	42,0	0,01	0.15 Si
Инколой 909	–	–	38,0	13,0	–	–	4,7	1,5	0,03	42,0	0,01	0.40 Si
V-57	—	14,8	27,0	—	1,25	—	—	3,0	0,25	48,6	<0.08	0.01 B, (0.5 max)
<i>Никель негізіндегі қорытпалар</i>												
Астролой	—	15,0	56,5	15,0	5,25	—	—	3,5	4,4	<0,3	0,06	0.03 B, 0.06 Zr
Инконель 100	–	10,0	60,0	15,0	3,0	–	–	4,7	5,5	<0,6	0,15	1.0 V, 0.06 Zr, 0.015 B
IN-100	–	10,0	60,0	15,0	3,0	–	–	4,7	5,5	<0,6	0,15	0.06 Zr, 1.0 V
Инконель 718	N07718	19,0	52,5	–	3,0	–	5,1	0,9	0,5	18,5	<0.08	<0,15 Cu
M 252	–	19,0	56,5	10,0	10,0	–	–	2,6	1,0	<0,75	0,15	0.005 B
Нимоник 80А	N07080	19,5	73,0	1,0	–	–	–	2,2	1,4	1,5	0,05	<0,1 Cu
Нимоник 90	N07090	19,5	55,5	18,0	–	–	–	2,4	1,4	1,5	0,06	–
Рене 41	N07041	19,0	55,0	11,0	10,0	–	–	3,1	1,5	<0,3	0,09	0.01 B
Рене 95	–	14,0	61,0	8,0	3,5	3,5	3,5	2,5	3,5	<0,3	0,16	0.01 B, 0.05 Zr
Юдимет 500	N07500	19,0	48,0	19,0	4,0	–	–	3,0	3,0	<0,4	0,8	0.005 B
Юдимет 700	–	15,0	53,0	18,5	5,0	–	–	3,4	4,3	<1.0	0,07	0.03 B
Уаспалой	N07001	19,5	57,0	13,5	4,3	–	–	3,0	1,4	<2.0	0,07	0.006 B, 0.09 Zr

СО негізіндегі қорытпалар бұл топқа кірмейді.

3.3-кесте. Осы кітапта айтылған темір негізінде құйылған ыстыққа төзімді қорытпаларда пайдаланылатын номиналды құрамдар және олардың ҚББЖ-белгіленуі (3.3-сурет)

ҚҚИ-код	ҚББЖ №	Құрамы (масса %)				
		C	Cr	Ni	Fe	N
HC	J92605	0,2-0,5	26-30	4(макс)	Қалдық	—
HD	J93005	0,2-0,5	26-30	4-7	Қалдық	—
HE	J93403	0,2-0,5	26-30	8-11	Қалдық	—
HH	J93503	0,2-0,5	24-28	14-18	Қалдық	0.2 Макс
HN	J94213	0,2-0,5	19-23	23-27	Қалдық	—
HT	J94605	0.35-0.75	13-17	33-37	Қалдық	—

АСІ (Қорытпалар құю институты), АТБИ белгіленуін толықтырады.

Темір негізінде құйылған ыстыққа төзімді қорытпалардың барлық типінің құрамында ТБ (1% Mn) пен HD (1,5% Mn) қоспағанда, 2% Si, 0,5% Mo, 2% Mn бар, P + S барлық типтер үшін 0,04%-дан аспайды.

Бұл қорытпалардың физикалық металлургиясы аса күрделі, мүмкін, басқа қоспалауыш жүйеге қарағанда күрделі. Бұдан бөлек, 3.1 және 3.2-кестелерде көрсетілгендей, бұл қорытпалардың құрамы күрделі болып табылады.

3.2.1 Fe негізіндегі қорытпалар

Бұл қорытпалар кейде Fe-Ni негізіндегі қорытпалар деп белгіленеді. Олар аустенитті болаттар үшін әзірленген. Бұл топ әдетте, бәрінен оңай өңделеді, себебі барлық топтың ішінде ең төмен ыстық беріктік қасиетке ие. Ол әдеттегі тот баспайтын болаттарға қарағанда Ni мен Cr мөлшері жоғары темір негізінен тұрады. Бұл қорытпалар әдетте 29-67% Fe, 22%-ға дейін Cr және 9-44% Ni құрайды. Бұл класқа Инколой, Асколой және тигель а-286 кіреді (3.1 және 3.2-кестелер және 3.2-сурет). Кейбір темір негізіндегі қорытпаларда термиялық кеңею коэффициенті өте төмен (Инколой 909), бұл оларды біліктер, сақиналар және қаптамалар үшін өте қолайлы етеді. Төмен температураларда және беріктікке қажеттілікке қарай Fe-Ni негізіндегі қорытпалар Co және Ni негізіндегі қорытпаларға қарағанда үлкен қолданысқа ие.

3.5-кестеде механикалық қоспаланған ыстыққа төзімді қорытпалар (ПМ-әдістеме бойынша алынатын) деп аталатын қорытпалар келтірілген. Инколой МА 956 – бұл құрамында никель мүлдем жоқ, темір негізіндегі қорытпа.

3.4-сурет жұмыс температурасының Fe негізіндегі ыстыққа төзімді қорытпалардың барлық типі үшін аққыштық шегіне әсерін көрсетеді. Fe негізіндегі кейбір маңызды ыстыққа төзімді қорытпалардың сипаттамалары және ерекше қолданылуы төменде аталып өткен:

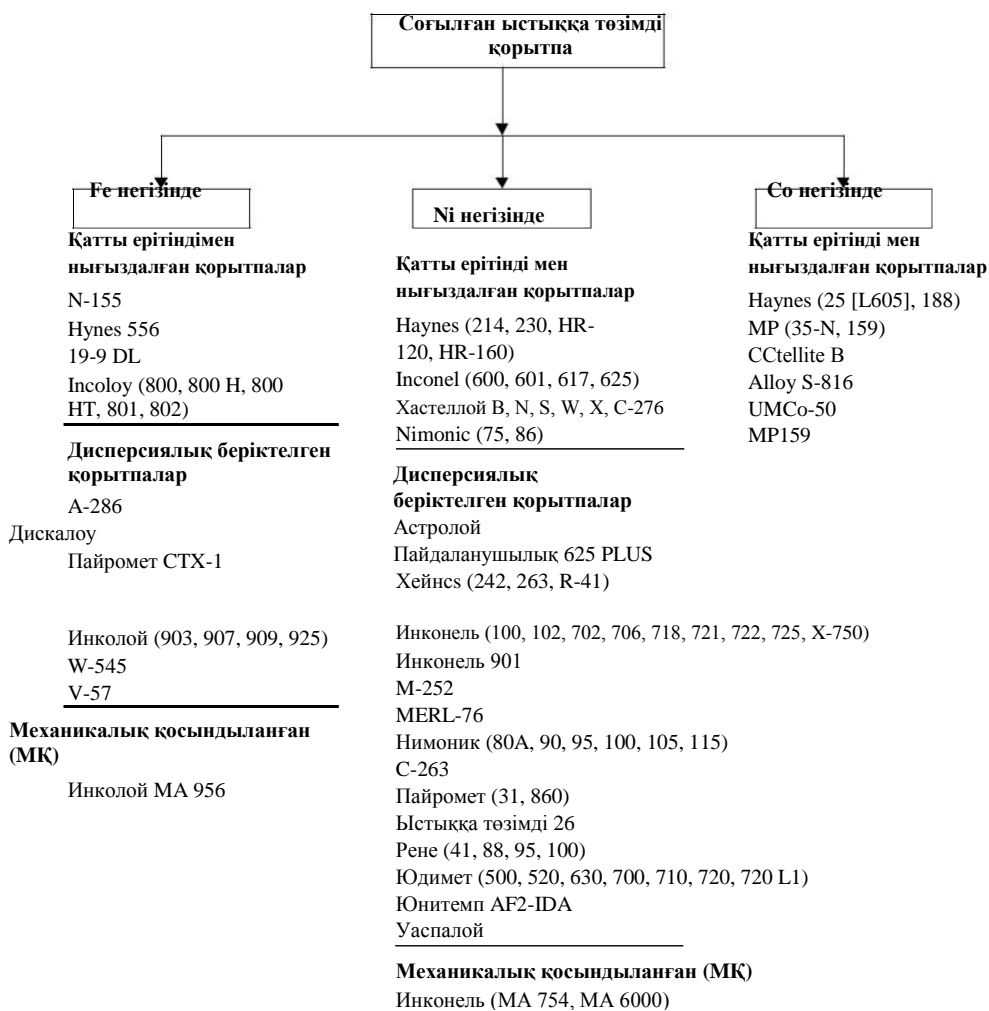
1. А-286 тұнбамен орныққан қорытпа болып табылады. Ол 700°C-қа дейінгі температурада жоғары беріктікті және жемірілуге жақсы төзімділікті талап ететін қолданыстар үшін арналған. 1000°C-қа дейін тотығуға төзімділік АТБИ-310 тот баспайтын болаттың төзімділігімен бірдей. Бұл қорытпа кемітілген аймақтарда жоғары серпімділікке ие [5]. Бұл қорытпа реактивті қозғалтқыш, айдағыш, қалақ, сондай-ақ форсаж камерасының бекіткіш бөлшектері сияқты жоғары температураларда жарамды.
2. Инколой 800 жоғары температурада беріктігі бірқалыпты және тотығу мен цементтелуге жақсы төзімді Fe-қорытпа негізіндегі қатты ерітінді болып табылады. Бұл әсіресе мұнай-химия өнеркәсібіндегі жоғары температуралы жабдық үшін пайдалы, себебі 650°C-қа дейін ұзақ әсер етуден кейін морттанатын сигма фазасын түзбейді.

3.4-кесте. Осы кітапта айтылған Ni және Co негізінде құйылған қорытпалардың номиналды құрамы және олардың БҰС-белгіленуі (3.3-сурет)

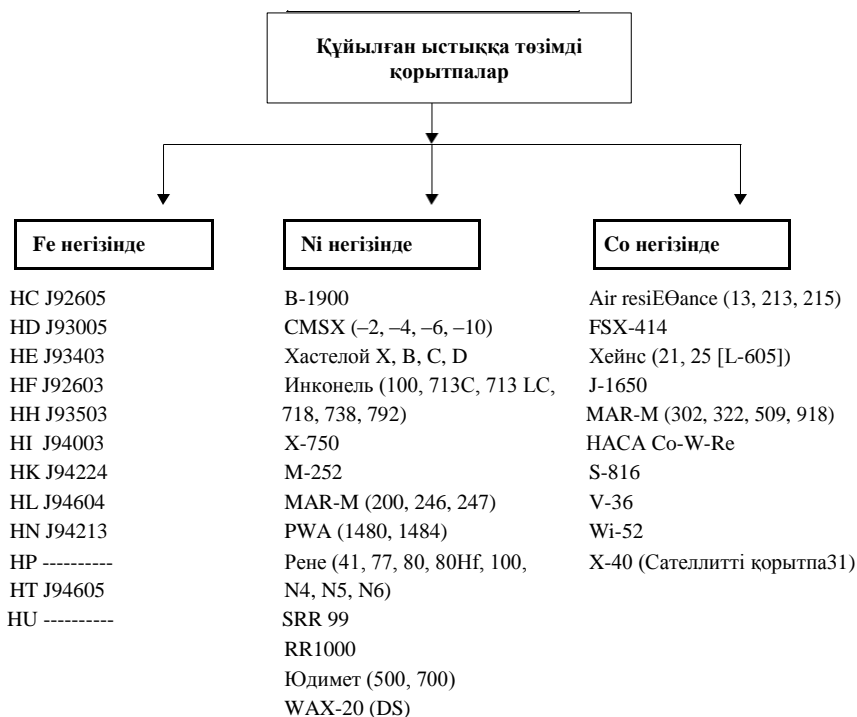
Суперқорытпа (фирмалық атауы)	Құрамы (масса %)												
	C	Ni	Cr	Co	Mo	Fe	Al	Si	Ti	Ta	W	Zr	Басқалары
<i>Никель негізіндегі қорытпалар</i>													
B-1900	0,1	64,0	8,0	10,0	6,0	—	6,0	0,015	1,0	4,0	—	0,10	1.5 κB
CMSX-4	—	Теңгерім	6,5	9,0	0,6	—	5,6	—	1,0	6,5	6,0	—	—
CMSX-10	—	Теңгерім	1.8^4.0	1.5-9.0	0.25-2.0	—	5.0-7.0	—	0.1-1.2	7.0-10.0	3.5-7.5	—	—
Хастеллой X	0,1	50,0	21,0	1,0	9,0	18,0	—	—	—	—	1,0	—	—
Инконель 100	0,18	60,5	10,0	15,0	3,0	—	5,5	0,01	5,0	—	—	0,06	1.0 V
Инконель 718	0,04	53	19,0	—	3,0	18,0	0,5	—	0,9	—	—	—	0.1 Cu, 5 Nb
MAR-M246	0,15	60,0	9,0	10,0	2,5	—	5,5	0,015	1,5	1,5	10,0	0,05	—
Рене 41	0,09	55,0	19,0	11,0	10,0	10,0	—	1,5	0,01	3,1	—	—	—
Юдимет 700	1,0	53,5	15,0	18,5	5,2	—	4,2	0,03	3,5	—	—	—	—
WAX-20(DS)	0,2	72,0	—	—	—	—	6,5	—	—	—	20,0	1,5	—
<i>Кобальт негізіндегі қорытпалар</i>													
AiResist 13	0,45	—	21,0	62,0	—	—	3,4	—	—	2,0	11,0	—	0,1 Y
Хейнс 21	0,25	3,0	27,0	64,0	5,0	1,0	—	—	—	—	—	—	—
MAR-M302	0,85	—	21,5	58,0	—	0,5	—	0,005	—	9,0	10,0	0,2	—
MAR-M509	0,6	10,0	23,5	54,5	—	—	—	—	0,2	3,5	7,0	0,5	—
NASA Co-W-Re	0,4	—	3,0	67,5	—	—	—	—	0,1	—	25,0	1,0	2 Re
X-40 (Стеллит31)	0,5	10,0	22,0	57,5	—	1,5	—	—	—	—	7,5	—	0,5 Mn, 0,5 C

3.5 –кесте. Осы кітапта сипатталған механикалық қосындыланған ыстыққа төзімді қорытпалардың құрамы және олардың ҚББЖ-белгіленуі (3.2 сурет)

Қорытпа	БҚС	Өңдеуді бағалау тәртібі	Құрамы (wt%)										
			Ni	Fe	Cr	Al	Ti	Ta	W	Mo	Zr	B	Y ₂ O ₃
<i>Fe негіздегі қорытпа</i>													
Инколой МА 956	270	1	—	74.5	20	4.5	0.5	—	—	—	—	—	0.5
<i>Ni негіздегі қорытпа</i>													
Инконель МА 754	277	2	88.60	—	20.0	0.3	0.5	—	—	—	—	—	0.6
Инконель МА 6000	450	3	68.74	—	15.0	4.5	2.5	2.0	4.0	2.0	0.15	0.01	1.1



3.2 сурет. Әдетте пайдаланылатын деформацияланған ыстыққа төзімді қорытпалар, олардың сауда атауларында көрсетілгендей



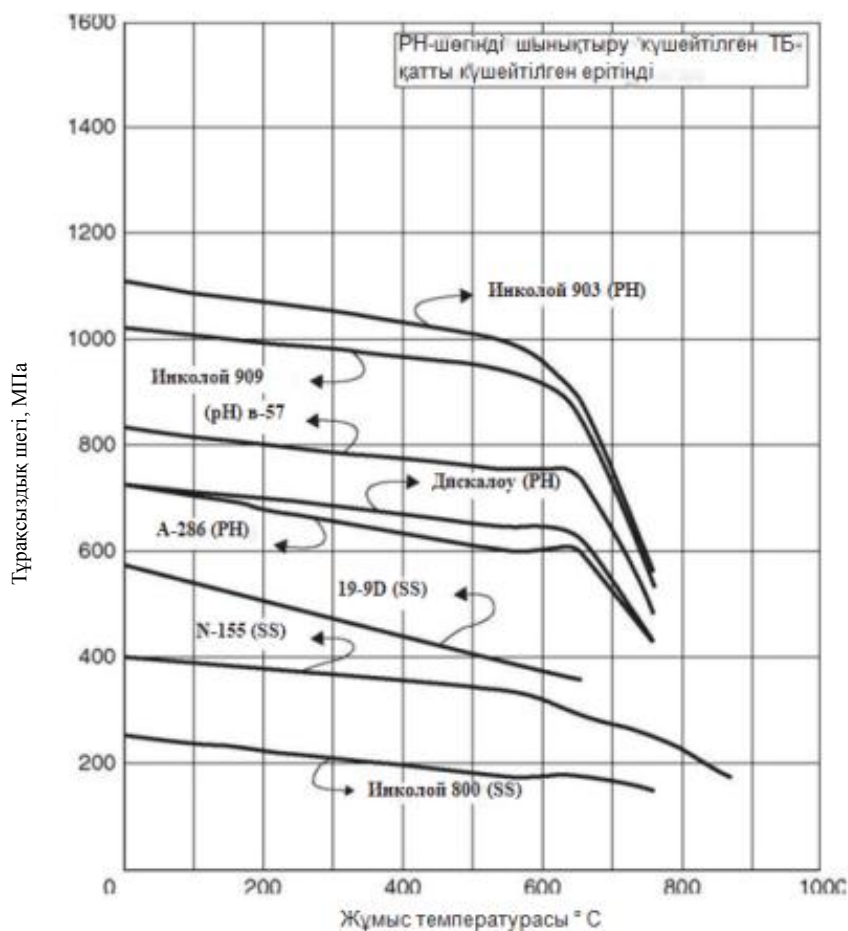
3.3-сурет. Сауда атауларында көрсетілгендей, әдетте қолданылатын құйылған ыстыққа төзімді қорытпалар.

Хлорлы жеміріліп шытынауға өте жақсы төзімділік бұл қорытпаның тағы бір маңызды ерекшелігі болып табылады. Сәйкесінше, ол жылу алмастырғыштар үшін, технологиялық құбыр желілеріне арналған компоненттер және қыздырғыш элементтерге арналған қабықшалар үшін қолдануға жарайды.

3. N-155 те қатты ерітінділі Fe негізіндегі қорытпа болып табылады, жақсы серпімділікке, жемірілуге жақсы төзімділікке ие, және оңай дайындалып, өңделе алады. N-155 850°C-қа дейін жақсы беріктікті және жемірілуге төзімділікті қажет ететін бөлшектер үшін ұсынылады. Ол көптеген ұшақтарда артқы конустар және газ шығаратын құбырлар, шығару коллекторы, жану оттығы және турбиналар қалағы ретінде қолданылады.
4. W-545 Fe негізіндегі қатты қорытпалы қорытпа болып табылады. Ол жақсы серпімділікпен, тіліктерге төзімділігімен және 750°C температураға дейін тотығуға өте жақсы төзімділігімен қатар өте жоғары беріктікке ие. Газ турбиналарында қолданылады.

3.2.2 Ni негізіндегі қорытпалар

Олар ыстыққа төзімді қорытпалардың ең үлкен тобын құрайды және әдетте өте күрделі және өңдеуге қатаң болып келеді. Олар көбінесе жоғары температура кезінде жемірілуге жоғары төзімділікті немесе жоғары беріктікті қажет ететін қолданыстарда пайдаланылады. Қазіргі таңда олар заманауи авиациялық қозғалтқыштар салмағының 50%-дан астамын құрайды. Бұл марканың қорытпалары 38-76% Ni және 28%-ға дейін Cr, Co және Mo, және Cr, Co және Mo элементтерінің әрқайсысын құрайды.

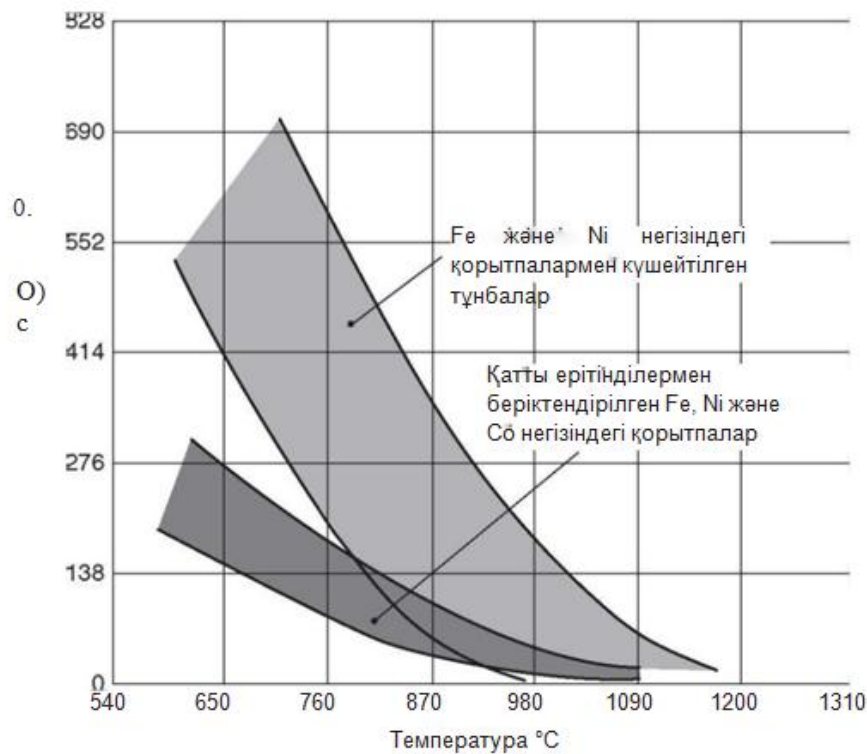


3.4-сурет. Температураның темір негізіндегі ыстыққа төзімді қорытпалардың аққыштық шегіне әсері

Ni негізіндегі қорытпалардың кең таралған типтеріне Хастеллой, Инконель, Нимоник, Рене, Удимет, Астролай және Уаспалой сериялары жатады (3.2-сурет).

Ni негізіндегі қорытпалар негізінде төрт түрі бар. Тұнбамен қатайған (3.2-кесте), құйылған (3.3 және 3.4-кестелер) және оксидпен беріктендірілген (ОРВ) қатты ерітінді (3.1-кесте). Қатты ерітіндідегі қорытпалар құрамында Al, Ti немесе Nb аз немесе жоқ. Тұнбамен беріктендірілген қорытпалар бірнеше пайыз Al мен Ti құрайды, ал олардың кейбірі едәуір Nb-дан тұрады. ОРВ қорытпаларының құрамында оксидтің ұсақ бөлшектерінің аз мөлшері бар (0,5-1% Y_2O_3) және олар ұнтақты металлургия әдістерімен жасалады. Бұл қорытпалар қымбат және бұл оларды құны мәселе болып табылмайтын шағын немесе шекті бөлшектермен пайдалануды шектейді. Бұл қорытпалар (сондай-ақ механикалық қоспаланған ыстыққа төзімді қорытпалар деп аталатын) 3.5-кестеде Инколай МА 95 бірге аталып өткен. Инконель МА 745 мен Инконель МА 6000 құрамында Fe мүлдем жоқ.

3.5-суретте көрсетілгендей, тұнуды орнықтыратын қорытпалар қатты ерітіндімен беріктендірілген қорытпаларға қарағанда беріктіктің едәуір жоғары мәніне ие. Дәл осындай 3.4 және 3.6-суретте аққыштық шегіне қатысты көрсетілген[6]. Жоғары температурада ең қатаң қолданыстар үшін тұнбалармен беріктендірілген ыстыққа төзімді қорытпаларды пайдаланған жөн.



3.5-сурет. Жұмыс температурасының ыстыққа төзімді қорытпалардың ажырауына аққыштық шегіне әсері. (Алынды: Мэтью және авторлас [6].)

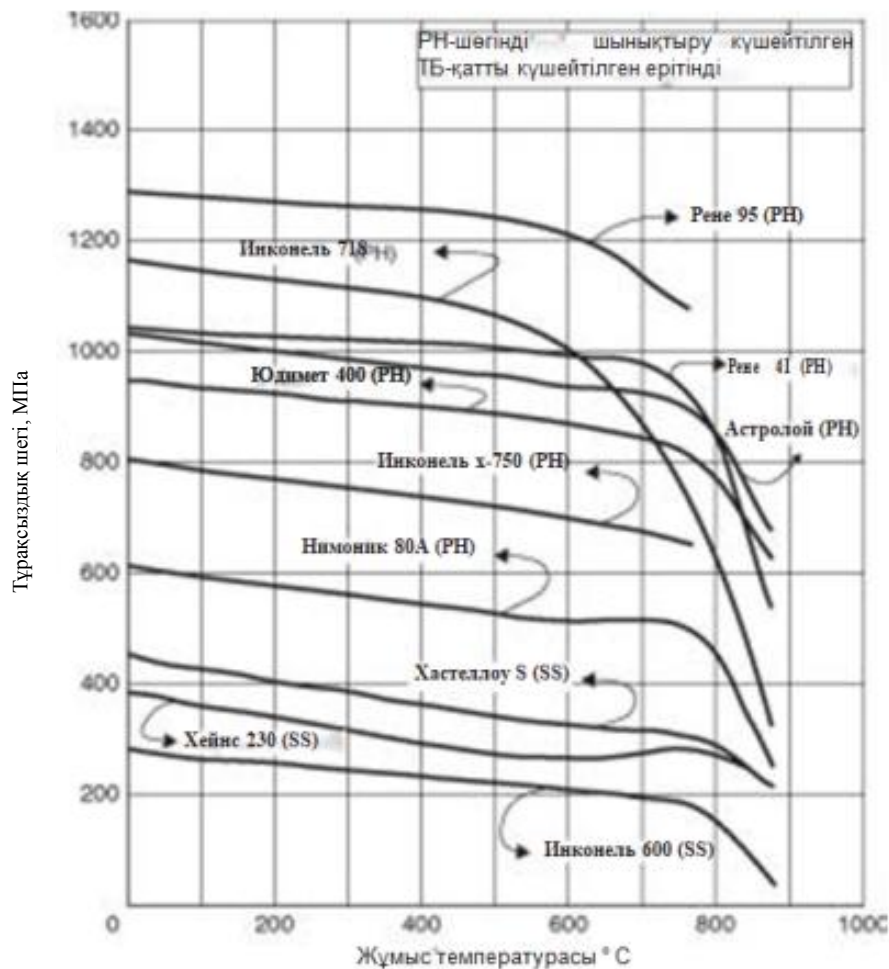
Пайдалану жағдайлары пісіру және өңдеу оңай болуының арқасында оларды пайдалануға мүмкіндік беретін қатты беріктендірілген ерітінділерді қолданған жөн. 3.6-сурет Ni негізіндегі ыстыққа төзімді қорытпалардың әртүрлі жұмыс температурасындағы аққыштық шегін көрсетеді.

3.6-кесте көрсетілген қоспалауыш элементтерді қосу есебінен Ni негізіндегі қорытпалардың тартымды қасиеттерге қалай ие болатынын көрсетеді [7]. Әдеттегідей, 3.1-бөлімде ыстыққа төзімді қорытпалар үшін көрсетілген ұқсас сызбалар қолданылады.

Әдетте қолданылатын Ni негізіндегі қорытпаларды пайдалану ерекшеліктері төменде келтірілген:

1. Инконель 718 – бұл темірдің, ниобий мен молибденнің едәуір мөлшерін, сондай-ақ алюминий мен титанның аз мөлшерін құрайтын, жақында әзірленген Ni негізіндегі қатты қорытпалы қорытпа, ол 700°C-қа дейінгі температурадағы сусымалылық кезінде жоғары шығуды және бұзу қасиеттерін көрсету үшін әзірленген [5]. Ол Al-мен және Ti-мен беріктендірілген Ni негізіндегі қорытпалармен салыстырғанда өте жақсы пісіруге бейімділікке ие. Ол әдетте ыстыққа төзімділік, жемірілуге төзімділік және күшке қарсылық қасиеттері өте қажет болып табылатын жағдайларда қолданылады. Мысалға, авиациялық қозғалтқыштар, ядролық белсендіру пештері, зымыран қозғалтқыштары, пештер және әскери кемелер.

2. Инконель X-750 тұнбасы Al мен Ti-дің қосылуымен беріктенетін Ni негізіндегі тағы бір қорытпа болып табылады, ол шамамен 700°C-қа дейінгі жоғары температураларда сусымалылық кезінде аққыштық шегіне ие. Ол жоғары температуралар жағдайында кеңінен қолданылады, бірақ күшті болып табылмайды. Ол ядролық реакторларда, газ турбиналарында, зымыран қозғалтқыштарында, жоғары қысымды ыдыстарда және авиациялық конструкцияларда пайдаланылады.



3.6-сурет. Температураның никельді қорытпалардың аққыштық шегіне әсері.

3.6-кесте. Көрсетілген элементтерді қосу есебінен никельді ыстыққа төзімді қорытпалардың қасиеттерін жақсарту

Қоспалауыш элементтерді қосу	Бастайтын
Cr, Fe, Mo, W, Ta Al, Ti Al, Cr, Ta V, C, Zr Hf	Жоғары беріктікке, Температураның жоғарырақ қаттылығы Тотығуға барынша жоғары төзімділікке, Сусымалылыққа барынша жоғары төзімділікке, Аралық температуралар кезінде созылмалылыққа, сондай-ақ тотығудың алдын алады

3. Инконель 706 жақсы технологиялығымен қатар жоғары механикалық беріктікті қамтамасыз ететін Ni негізіндегі тұнатын қатқылданатын қорытпа болып табылады. Ол Инконель 718-дегі сияқты сипаттамаларға ие, бірақ оны көбінесе механикалық өңдеу жолымен оңай дайындалады. Ол авиациялық-ғарыштық салада турбина мен компрессор дискілері, біліктер және қабықшалар ретінде қолданылады.

4. Инконель 625 криогендік 1100°C аралығында жоғары беріктік пен қаттылыққа негізделген, жемірілуге және тотығуға төзімді қатты қорытпа. Бұл қорытпаның қажуға беріктігі және хлорид иондарына кернеулі күйде жемірілуге қарсылығы жоғары. Ол жылу экрандарында, пеш жабдығында, газ турбинысында, химиялық зауыт жабдығында, теңіз суында қолданылады.
5. Инконель 600 жоғары беріктіктің, ыстықпен және суықпен өндеудің және әдеттегі жемірілуге төзімділігінің өте жақсы үйлесіміне ие никель қорытпасының қатты ерітіндісі болып табылады. Ол көміртектену атмосферасында, этиленхлорид крекерлерінде және пеш табандығында қолданыс табады.
6. Хастеллой В Ni негізінде қорытпалар тобындағы Ni-Mo қосымша мүшесі болып табылады. Бұл қатты ерітіндімен беріктендірілген, кез келген концентрация мен температурада, тұз, күкірт және фосфор қышқылдарына, сондай-ақ басқа да тотықтырмайтын орталарға төзімділігі жоғары қорытпа. Химиялық процестерге, вакуум пештеріне және қоршаған ортадағы механикалық компоненттерге арналған.
7. Хастеллой С – орташа күштегі ыстыққа төзімділігі жоғары және тотығуға қарсылығы өте жақсы никель қорытпасының қатты ерітіндісі болып табылады. Ол газ турбиналарында, нығыздау сақиналарында және қабықшаларда қолданыс табады.
8. Хастеллой Х 1200°C-қа дейінгі температураға беріктігі және төзімділігі өте жоғары, қатты ерітінділі Ni негізіндегі қорытпа болып табылады. Ол мұнай-химия саласында қолдану кезінде кернеумен шытынауға өте орнықты екені анықталған. Қорытпа керемет қалып түзу және пісіру сипаттамаларына ие. Әсіресе пештерде қолдану ұсынылады, себебі тотығу, қалпына келу және бейтарап атмосфераға ерекше төзімді. Бұл қорытпадан жасалған пеш біліктері 1180°C кезінде 8700 сағат жұмыс жасағаннан кейін де жақсы күйде тұрды. Хастеллой Х жанарғы компоненттері мен ұшақты басқа да бөлшектерінен кейін реактивті қозғалтқыштың газ шығару құбырларында өзін жақсы көрсетті. 480 °C-қа дейінгі минус температурада қолдану өте жарайды [5, 8].
9. Хастеллой С-276 күшейтілген қатты ерітіндісі бар Ni негізіндегі қорытпа болып табылады, ол әртүрлі химиялық ортада жемірілуге өте жақсы төзімділікті қамтамасыз ету үшін теңдестірілген. Ол ыстық, ластанған минерал қышқылдарына және хлоридпен ластанған органикалық және бейорганикалық құралдарға қарсылықты қамтамасыз етеді. Ол химиялық өндеу компоненттерінде жылу алмасу аппараты, реакция ыдыстары, буландырғыш және беріліс құбыр желісі ретінде қолданылған. Сондай-ақ ол целлюлозалы-қағаз өнеркәсібінде, қалдықтарды өндеуде, фармацевтикалық және тамақ жабдығында қолданылады.
10. Нимоник 90 – бұл өте жоғары механикалық қасиеттерге және жемірілуге төзімділікке ие қатты қорытпалы Ni-базалы қорытпа. Әуе-ғарыш өнеркәсібінде, сондай-ақ жоғары температурада жұмыс істейтін серіппелерде қолданылады.
11. Рене 41 – Ni негізіндегі температурасы жоғары және беріктігі жоғары қорытпа. 800°C-қа дейінгі жоғары температураларда тотығуға жақсы төзімділікке ие. Бұл газ турбиналарында, авиацияда және теңізде пайдалануда өте пайдалы қорытпа.
12. Уаспалой – бұл кемірілуге керемет төзімді Ni негізіндегі қатты қорытпалы қорытпа; ол жоғары температура жағдайында (900°C), мысалы газ турбиналарында және авиациялық реактивті жабдықтарда қолданылады.
13. Хейнс 282 авиациялық қозғалтқыштардра және соған ұқсас газ турбиналы жүйелерде жоғары температуралы конструкциялық қолданыс үшін әзірленген Ni негізіндегі пішіні өзгеретін беріктендірілген қорытпа болып табылады. Мысалға, компрессорға арналған қабықшалар, жану камералары және турбина секциялары, сондай-ақ газ шығару және шүмек бөліктері. Бұл қорытпаның Уаспалой сияқты Ni негізіндегі басқа ұқсас қорытпалар алдындағы басты артықшылығы 816°C-та 100 сағат бойы 1% сусымалылық алу үшін сусымалылық кернеуінің 221 МПа, термиялық тұрақтылықтың (ҚБЖ (созуға беріктік шегі) 1000 сағат бойы 870°C температурада ұстағаннан кейін 975 МПа) және өте жақсы дәнекерленуінің керемет үйлесімі болып табылады.

3.7-кесте. Кейбір кең таралған Ni негізіндегі ыстыққа төзімді қорытпалардың 870°C кезіндегі механикалық қасиеттері

Ыстыққа төзімді қорытпаның фирмалық атауы	Қорытпа күйі	ҚББЖ (МПа)	ИТС (МПа)	ИТС / ҚББЖ арақатынасы	Ұзаруы % 50 мм
Астролой	БҚЕ-соғылған	770	690	0,90	25
Хастеллой Х	ТБ- соғылған	225	180	0,80	50
IN-100	Құйылған	885	695	0,79	6
Инконель 625	БҚЕ- соғылған	285	275	0,97	125
Инконель 718	ҚТ- соғылған	340	330	0,97	88
MAR-M200	Cast	840	760	0,90	4
Рене 41	ҚТ- соғылған	620	550	0,89	19
Юдимет 700	ҚТ- соғылған	690	635	0,92	27
Уаспалой	ҚТ- соғылған	525	515	0,98	35

БҚЕ = беріктендірілген қатты ерітінді, ҚТ = қатайған тұнба. Дерек көзі: Калпакжан және Шмидт[9].

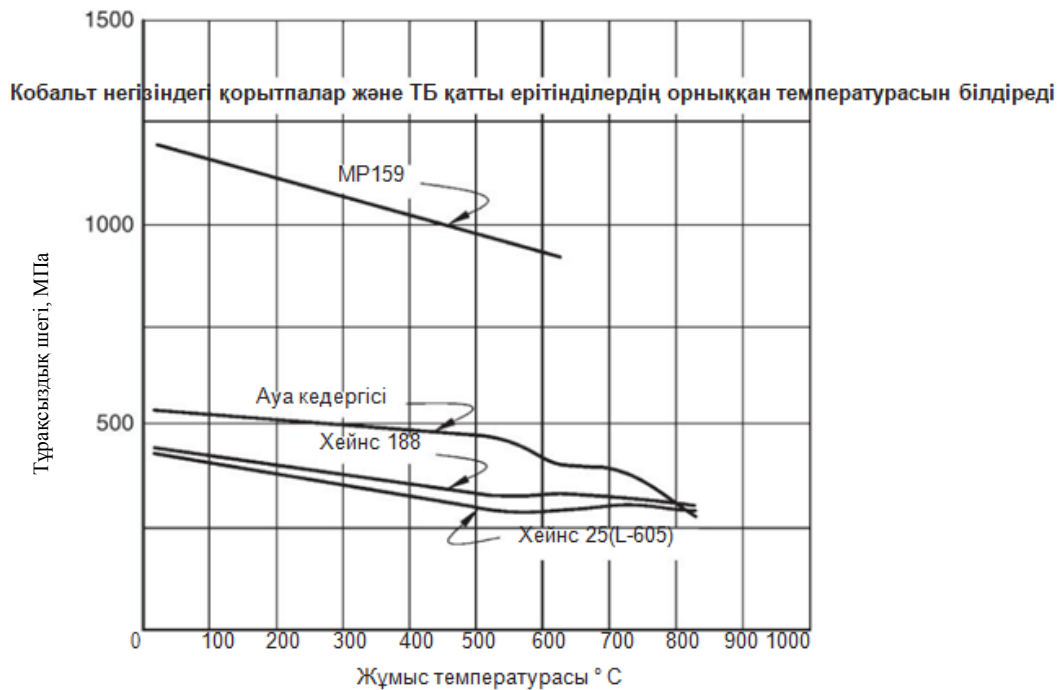
3.7-кесте кейбір кең таралған Ni негізіндегі қорытпалардың жоғары температура (870°C) кезіндегі механикалық қасиеттерін көрсетеді. Айта кетерлігі, болаттар мен қоспаланған болаттарға қарағанда созу кезіндегі аққыштық шегінің/созу кезіндегі беріктік шегінің арақатынасы (ИТС/ҚББЖ) өте жоғары мәнге жетеді. Мұндай арақатынас авиациялық қолданыстағыдай жоғары жұмыс температурасы кезінде жоғары беріктікті талап ететін қолданыс үшін конструкторлармен жоғары бағаланады.

3.2.3 Со негізіндегі қорытпалар

Кобальт негізіндегі ыстыққа төзімді қорытпалардың шығу тегі 1900 жылдардың басында Элвуд Хейнспен патенттелген сателлитті қорытпаларда жатыр. Кобальт Ni сияқты аустениттейтін элемент болып табылады. Оның жоғары құны оны газ турбиналарында қолдану үшін Со негізіндегі қорытпалардың пайдаланылуын шектеу тенденциясына ие. Олар беріктікке және жемірілу типіне нақты қажеттілігіне, күтілетін міндетке қарай Ni-негіздің орнын баса алады. Бұл ыстыққа төзімді қорытпалар Ni негізіндегі қорытпалар сияқты аса берік емес, бірақ олар ыстықпен жемірілуге керемет төзімділікті көрсетеді және Ni негізіндегі қорытпаларға қарағанда барынша жоғары температураларда өзінің беріктігін сақтап қалады. Бірге олар қажуға керемет жылулық қарсылықты және никель негізіндегі қорытпалардың барынша пісірілуге бейімділігін көрсетеді. Кобальт негізіндегі қорытпалар карбидті тұнбамен орнығады; осылайша көміртек мөлшері шешуші мәнге ие болады. Сг ыстықпен жемірілуге орнықтылықты қамтамасыз етеді, және басқа баяу балқитын металдар (W, Mo, Ta, Nb, Zr және Hf) қатты ерітіндіге беріктік беру үшін қосылады.

Ni негізіндегі қорытпалармен салыстырғанда Со-қорытпалар үшін кернеудің ажырау қисығы барынша жазық болып табылады және шамамен 930°C-қа дейін өте төмен беріктікті көрсетеді (3.5-сурет). Құю кобальт негізіндегі қорытпалар үшін маңызды, ал бағытталып қатайған қорытпалар (ҚҚ) ажырауға беріктіктің және ыстықпен қажуға төзімділіктің артқанын көрсетті. Монокристалды қорытпалардың дамуы беріктік пен ыстыққа төзімділіктің бұдан да жоғары арттыруға қол жеткізуге мүмкіндік берді.

Кобальт негізіндегі қорытпалар әдетте 35-67% Со, 19-30% Сг және 35%-ға дейін Ni құрайды. Бұл топтың жалпы қорытпаларына Хейнс және АйРезист сериясы кіреді. Кобальт негізіндегі қорытпалар компонент беріктігіне нақты қажеттілікке және күтілетін жемірілу қасиеттеріне қарай Ni негізіндегі қорытпалардың орнына қолданылуы мүмкін. 3.7-сурет әртүрлі операциялар кезінде Со-база негізіндегі ерітінділердің аққыштық шегін көрсетеді.



3.7-сурет. Температураның Со негізіндегі ыстыққа төзімді қорытпалардың аққыштық шегіне әсері.

Со негізіндегі кейбір таңдалған қорытпалардың ерекшеліктері және қолданылуы төменде келтірілген:

1. Хейнс 25 (L-605) жақсы қалыптану және керемет жоғары температуралық қасиеттерді үйлестіреді. Бұл қорытпа тотығуға және 1050°C-қа дейін цементтелуге тұрақты. Хейнс 25 реактивті қозғалтқыштардың көп бөлігінде жақсы қызмет етеді. Кейбірі жанарғы мен турбина сақиналарынан кейін турбина қалақтарында және жану камераларында қолданылады. Ол әртүрлі өнеркәсіптік пештерде сәтті қолданылды.
2. Сондай-ақ Хейнс 188 қатты күшейтілген ерітінді. Ол керемет жоғары температураға беріктігімен, қоршаған ортаның 1150°C-қа дейін тотығуына жақсы кедергісімен, хлоридтің өте жақсы кедергісімен сипатталады және тез қатып қалуы мүмкін. Ол әскери және өнеркәсіптік газ турбиналарында сәтті қолданылады.
3. АйРезист 213 жақсы құю қабілетіне және термиялық қажу мен тотығуға өте жақсы төзімділікке ие Со негізіндегі құйылған қорытпа болып табылады.
4. MAR-302-де Со негізіндегі құйылған қорытпа болып табылады. Ол заманауи қозғалтқыштардағы шүмекке арналған бағыттаушы материал ретінде жиі қолданылады.

Әдебиетке сілтемелер

- [1] Davis, J.R. (2000) *AMQ Speciality HB, Nickel, Cobalt, and Their Alloys*. Davis and ATBBociates.
- [2] Sandvik-Coromat(2013) *Workpiece Materials - CXY S HRSA and Titanium*.
- [3] Degarmo, E.P., Black, JT, Kohser, R.A. (1997) *Materials and Processes in Manufacturing*, 8th edn, Prentice Hall Inc., Upper Saddle Rivers, NJ.
- [4] IQS Directory InduEØrial Quick Search <http://www.Iqsdirectory.com/alloys/superalloys/> (accessed December 10, 2013).
- [5] High Temp Metals www.hightempmetals.com (accessed April 17, 2015).
- [6] Mathew, J., Denachio J., Donachie, S.J. (2002) *Super Alloys- A Technical Guide*AMQ International, 2nd edn.
- [7] Seco (2014) *Technical Guide. Turning Difficult-to-Cut Alloys*.
- [8] MEGA MEX www.megamex.com/monel-500-nickel-alloy.htm.
- [9] Kalpakjian, S., SXØid, S.R. (2003) *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, 4th edn, Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ.

4

Дәстүрлі өңдеу - өңделімділік, құралдар және майлау-суыту сұйықтықтары

4.1 Металдардың кесумен өңделу концепциясы

4.1.1 Анықтама және жалпы аспектілер

Материалдың өңделімділігі шараптың дәмдік сапасына ұқсас – онай бағаланады, бірақ сандық бағалауға келмейді. Сәйкесінше, бұл материалдың абсолюттік қасиеті емес, материалдың кесу кезіндегі өзін ұстау тәсілі. Бұл алғаш рет 1920 жылдары Тейлормен дайындама материалдарының қасиеттерін сипаттау үшін ұсынылған термин. Сол кезден бері ол жиі қолданылды, бірақ толық түсіндірілмеді, себебі ол оны қолданатын адамның көзқарасына қарай әртүрлі түсіндіріледі. Өңделімділік – бұл материалдың өңдеу процесіне салыстырмалы қабылдағыштығы. Ең кең ұғымда жақсы өңделетін материал энергияны аз тұтынуды, құралдың ұзақ қызмет ету мерзімін және беттің жақсы сапасына жетуді қажет етеді. Үш фактордың (құралдың қызмет ету мерзімі, энергия тұтынуы және беттің таза өңделуі) салыстырмалы маңыздылығы ең бастысы өңдеудің қаралтым немесе таза болуына байланысты. Нақты өндірісте қаралтым өңдеу үшін құралдың қызмет ету мерзімі және таза өңдеу үшін беттің таза өңделуі әдетте өңделімділіктің ең маңызды критерийлері болып саналады (4.1-кесте).

Кейде назар аудару қажет өңделімділіктің қосымша критерийі жоңқаны алып тастау критерийі болып табылады. Ұзын жұқа таспалы жоңқалар егер жоңқа сындырғышпен сындырылмаса, жұмысқа кедергі келтіруі мүмкін, ол кесу аймағына қауіпті етеді. Бұл критерийдің автоматы білдектердің жұмысында маңызы зор. Жоңқаның түзілуі, құрал / жоңқа және тоқырау аймағы құбылысы (тоқырау аймағы) бөлімінде бетте үйкелу өңделімділікті анықтайды. Құрал бетіне жабысу немесе тоқырау аймағын құру тенденциясына ие созылмалы материал нашар әрленуге алып келуі мүмкін. Бұл төмен көміртекті болат, таза алюминий, Си және тот баспайтын болат (ТБ) сияқты материалдарда байқалды [1].

4.1-кесте. Нақты өндірісте бастапқы және таза өңдеу кезінде өңдеу өлшемінің салыстырмалы маңыздылығы

Өңделімділік критерийінің тәртібі	Алдын ала кертіккесу	Кесуді аяқтау
1	Құралдың төзімділігі	Бетті әрлеу
2	Тұтынылатын қуат	Құралдың төзімділігі
3	Бетті әрлеу	Тұтынылатын қуат

Механикалық және физикалық қасиеттері де кесу кезінде өндірілетін энергия мен жылуды тұтыну шамасында рөл ойнайды. Мысалы, Ті жартылай өзінің нашар жылу өткізгіштігінен болатын жоғары температураның себебінен, жартылай кескіш құралға жабысып қалу себебінен механикалық өңдеуге көнбейді.

Бұдан бөлек, өңделімділік материалдың абсолюттік қасиеті болып табылмайды. Бұл сондай-ақ таңдалған өндіру процесіне азды-көпті байланысты. Белгілі бір процеспен өңделетін материал басқа процеспен өңделмеуі мүмкін. Берілген жағдайларда жарамды деп танылған нақты өңдеу процесі басқа жағдайларда дәл сол материалды өңдеу үшін бірдей тиімді бола бермейді [2].

Жоғарыда айтылғандардан шығатыны, өңделімділікке әсер ететін кіру параметрлері (4.1-сур.) төмендегілер болып табылады:

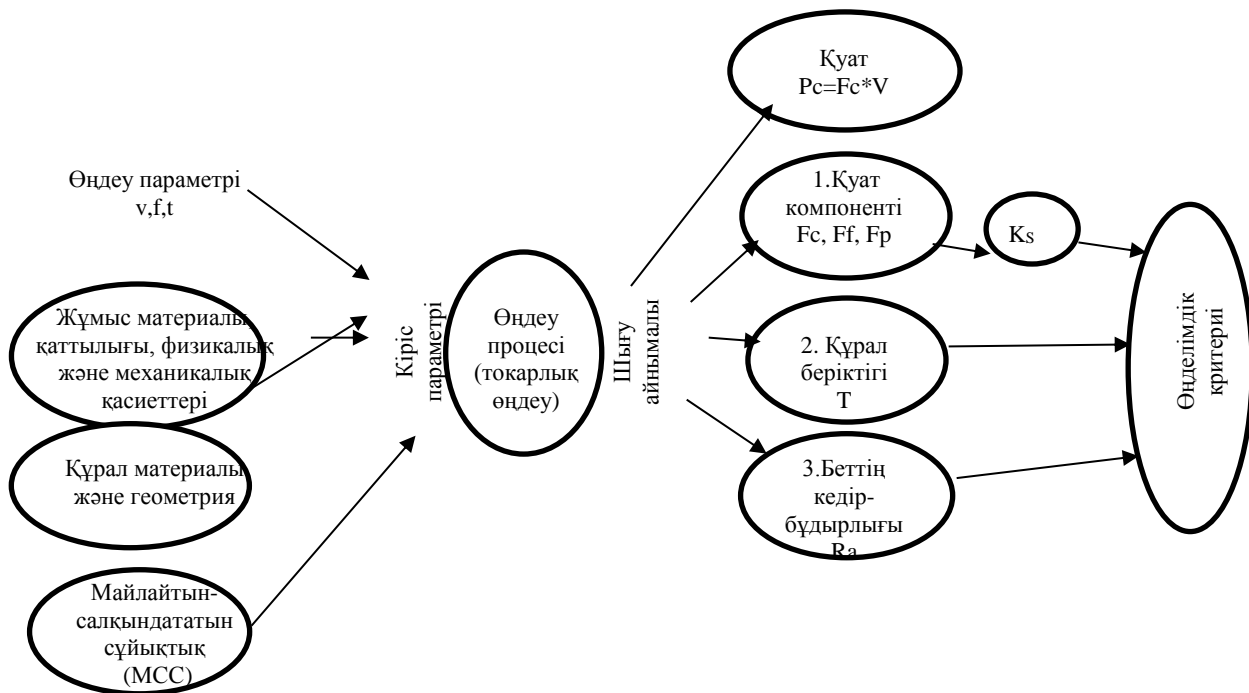
1. жұмыс материалының қасиеттері және серпімділік модулі, шығу беріктігі, созылуға беріктік, қаттылық, микроқұрылымы, түйіршік мөлшері, термиялық өңдеу, химиялық құрамы, дайындалуы, жылу өткізгіштігі және жылулық кеңеюі сияқты алдыңғы тарихы;

2. құралдың материалы мен геометриясы;
3. кесу операциясының типі;
4. білдек қуаты, қаттылығы және дәлдігі;
5. өңдеу шарттары ;
6. суытатын сұйықтықтың типі мен мөлшері.

4.1.2 Сандық бағалау және өңделімділік критерийлері

Өңделімділікпен жұмыс материалды әзірлеу мен осы материалдарды өнеркәсіпте пайдалануға дейінгі өндірістік мүмкіндіктер арасындағы алшақтықты жою үшін қажет [3]. Өңделімділікті болжау құралының пайдасы анық. Өңделімділіктің жоғарыда аталған аспектілері күрделі болғандықтан материалдың өңделімділігін бағалау үшін сандық арақатынасты орнату қиын. Өңделімділік көбінесе жеке түрде бағаланады және тестілер нақты өңдеу процесінің қажеттіліктеріне бейімделген. Бұл өңделімділікті сандық жағынан білдіруде шынымен де қиын міндет. Осы себептен ауқымды сынақтарға, іс жүзіндегі тәжірибеге, өндірістік нұсқаулықтарда және арнайы анықтамалықтардан жиналған деректерге негізделген механикалық өңдеуге қатысты нұсқауларға жүгінген жөн.

Өңделімділік бірлігі жоқ болғандықтан оны бір материалды эталон деп қабылданатын басқа материалмен салыстыру арқылы бағалайды. АТБИ (Америкалық темір және болат институты) дәстүрлі өңдеуде (өңделімділік, жабдық және майлау-суыту сұйықтықтары) баптау тестілерін орындай отырып, материалдардың кең ауқымы үшін 180 sfpm өңделімділік рейтингін анықтады.



Кіріс параметрлері

v = Кесу жылдамдығы м/мин
 f = Беру жылдамдығы мм/айн
 t = Кесу тереңдігі, мм
 MCC = Майлайтын салқындататын сұйықтық

Шығу айнымалы

F_c, F_f, F_p = Негіз, беріліс, және
 = Пассивті компоненттер
 P_c = Кесу қуаты
 $= F_c \cdot v$

Өңделімдік критеріі

- k_s = Кесудің меншікті энергиясы
 $f(F_c, f, t, CF)$
- T = Құрал беріктігі
 $= f(v, f, t, V_B, CF)$
 V_B = артқы беті бойынша тозу
- R_a = CLA-кедір-бұдырлы
 $f(f, v, t, r_n, CF)$
 r_n = Төбенің дөңгелектеу радиусы

4.1-сурет. Кіру параметрлері, шығу айнымалылары және өңделімділік критерийлері.

Кейін эталондық материал өңделімділігінің 100%-ға тең негізсіз рейтинг берілді. Эталондық материал АТБИ-В1112 (160 БҚС қарапайым көміртексіз болат нәтижесінде алынған) болды. Өңделімділікті бағалау әр материал үшін тұтынылатын қуаттың өлшенген орташа мәндерін, беттің әрленуін, кесу жылдамдығын және құралдың қызмет ету мерзімін өлшеу арқылы анықталады. Өңделімділік рейтингі 100%-дан төмен материалды В1112-ге қарағанда өңдеу қиындау болады, және де 100%-дан жоғары болса өңдеу оңай болады.

4.2-кестеде кейбір кең таралған қара және түсті қорыпалардың салыстырмалы өңделімділігі азаю тәртібінде келтіріледі. Бұған байланысты мәселе мынада жатыр: егер салыстырмалы өңделімділікті бағалау үшін әртүрлі құрал материалдары қолданылса, әртүрлі бағалау туындауы мүмкін. Осылайша, кестелер мен деректер тек басшылыққа алынатын принциптер ретінде ғана қолданылуы тиіс.

4.2-кесте. Өртүрлі материалдардың салыстырмалы өңделімділігі

Өңделімділік рейтингі	Материалдық
Өте жақсы бағалау	Mg-қорытпалар, Al-қорытпалар, дюралюминий
Жақсы рейтинг	Zn - қорытпалар, қола, мальталар, жез, жоғары өңдеу қабілеттілігімен болаттар
Әділ рейтинг	Төмен көміртекті болат, құйылған мыс, күйдірілген никель, төмен қоспаланған болат
Төмен рейтинг	Шойын құймасы, еркін кесу 18-8 тот баспайтын болаттан жасалған
Өте төмен рейтинг	ЖЖБ, 18-8 тот баспайтын болат, монель, ыстыққа төзімді қорытпалар
Өңдеуге келмейді	Ақ СІ, стеллиттер, карбидтер, керамикалар

Дереккөз: Юсеф және Эль-Хофид [1].

4.1.2.1 Құралдың төзімділік критерийлері

Өңделімділік құрал жұмысының ұзақтығы критерийлері (4.1-сурет) негізделуі мүмкін. Бұл қасиеттері мен энергия тұтынуы ұқсас, бірақ олардың бірі немесе бірнәшесі түрпілеу болып табылатын (бұл құралдың қызмет ету мерзімін төмендетеді) материалдардың өңделімділігін салыстыру кезінде пайдалы болуы мүмкін. Мұндай тәсілдің негізгі кемшілігі құралдың қызмет ету мерзімінің өңделетін материалға ғана байланысты емес екенінде. Басқа факторларға кескіш құралдың материалдары, құрал геометриясы, өңдеу күйі, кескіш құралдың қысқышы, кесу жылдамдығы, беру жылдамдығы, кесу тереңдігі кіреді. Құралдың бір түрі үшін материалдың өңделімділігі басқа құрал түрімен (яғни ЖЖБ құралы (қатты қорытпалы құралға арналған жоғары жылдамдықты болат) салыстырылуы мүмкін емес.

Бастапқы өңдеу операциялары үшін материал өңделімділігін саралау критерийі ретінде құралдың қызмет ету мерзімі T (мин) немесе кесу жылдамдығы v (м/мин) қабылданады. T да, v да Тейлор теңдеуінде (4.1) бірге өзара байланыстырылады:

$$vT_n = C \quad (4.1)$$

мұндағы

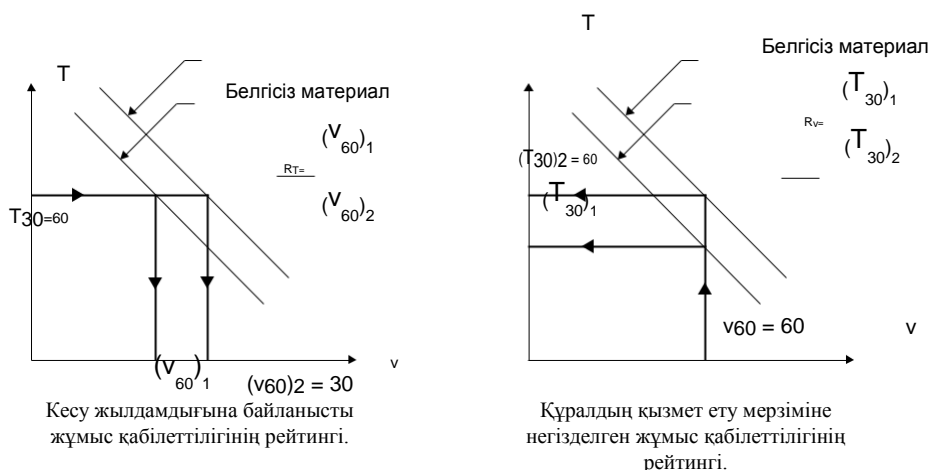
$$\begin{aligned} C &= \text{Тейлор шектеуі} \\ n &= \text{Тейлор көрсеткіші} \end{aligned}$$

АТБИ-В1112 эталондық материалды қайрау кезінде құрал ресурсы кесу жылдамдығы 90 sfpm (30 м/мин) болған кезде 60 мин құрайды деп алайық. Егер материал өңделімділігі 70% болса, Тейлор теңдеуіне сәйкес және дәл сол құралды және өңдеудің басқа параметрлерін ескере отырып, құралдың дәл сол қызмет ету мерзімі үшін кесу жылдамдығы дәл сол құралды іске асыру үшін үшін 63 м.д. / мин (21 м/мин) құрауы тиіс. 4.2а-суретте АТБИ-В1112 белгісіз және анықтамалық материалы үшін Тейлор тәуелділіктері көрсетілген. Бұл қатынастар координаталардың қос логарифмдік жүйесінде көрсетілсе, тура қатынастар болып табылады. RT салыстырмалы өңделімділігі белгісіз материалды кесу жылдамдығының құралдың дәл сол қызмет ету мерзімін ($T = 60$ мин) қамтамасыз ететін эталондық материалды кесу жылдамдығына қатынасын білдіреді, яғни

$$R_T = \frac{(v60)_1}{(v60)_2} = \frac{\text{белгісіз затты кесу жылдамдығы}}{\text{эталондық материалды кесу жылдамдығы}} \quad (4.2)$$

Өңделімділік дәрежесі қалай анықталатынын көрсету үшін жұмыс істейтін екі материалда бірдей кесу жағдайында құрал төзімділігіне сынақтар сериясы жүргізіледі, соның барысында тек жылдамдық қана өзгереді. Базалық материал ретінде анықталған бірінші материал құралдың қызмет ету мерзімінің $vT_{0'28} = 350$ Тейлор теңдеуін береді, ал басқа материал

Анықтамалық материал B1112 Анықтамалық материал B1112



4.2 сурет. Белгісіз және анықтамалық материалға АТБИ-В1112 арналған Тейлор қатынасы. (а) кесу жылдамдығына байланысты, жұмыс қабілеттілігінің рейтингі. (б) Құралдың қызмет ету мерзіміне негізделген машиналық қабілеттілік деңгейі

(тестілік материал) $vT_{0'27} = 440$ Тейлор теңдеуін береді, мұндай жылдамдық м/мин-мен, ал құралдың қызмет ету мерзімі мин-пен беріледі. Салыстыру негізіне құралдың 60 минуттық ресурсын қамтамасыз ететін кесу жылдамдығын пайдалана отырып зерттелетін материалдың өңделімділігін бағалау қойылған. Бұл жылдамдық v_{60} деп белгіленеді. Базалық материалдың өңделімділік рейтингі = 1,0. Оның мәнін v_{60} Тейлор құрал ресурсы теңдеуінен төмендегідей анықтауға болады:

$$v_{60} = (350 / 60^A)^{0.28} = 111 \text{ м/мин}$$

Құралдың қызмет ету мерзімі 60 минут болған жағдайда сыналатын материал

үшін кесу жылдамдығы соған ұқсас анықталады:
 $v_{60} = (440/60^A)^{0.27} = 146 \text{ м / мин.}$

Сәйкесінше, өңделімділік рейтингі былай есептеп шығарылуы мүмкін:

$$R_T (\text{сынақ материалы үшін}) = 146/111 = 1,31 \text{ (131\%)}$$

Екінші жағынан, материалдың салыстырмалы өңделімділігі R_v кесу жылдамдығы бірдей болған ($v = 30$ м/мин) жағдайда осы материалдың құрал ресурсының эталондық материал ресурсына қатынасы ретінде өрнектелуі мүмкін (4.2 b-сурет), яғни

$$R_v = \frac{(T_{30})_1}{(T_{30})_2} = \frac{\text{белгісіз материалдан құрал-сайманның қызмет ету мерзімі}}{\text{эталондық материалдың қызмет ету мерзімі}} \quad (4.3)$$

Жұмыс материалы беріктігінің артуына қарай кесу күші, меншікті энергия және кесу температурасы да артады, бұл материалды өңдеуді қиындатады. Екінші жағынан, өте төмен қаттылық өңдеу

өнімділігіне кері әсер етуі мүмкін. Мысалы, салыстырмалы төмен қаттылыққа ие төмен көміртекті болат жақсы өңдеу үшін көбінесе өте созымды. Жоғары серпімділік жоңқа түзілу кезінде металдың ажырауын тудырады, бұл нашар әрлеуге және жоңқаны пайдаға жаратуда қиындыққа алып келеді.

Металл химиясы қасиеттеріне маңызды ықпал етеді; және кей жағдайларда химия құрал материалына әсер ететін тозу механизміне де ықпал етеді. Осы қатынастар арқылы химия өңделімділікке ықпал етеді. Көміртек мөлшері болат қасиетіне айтарлықтай әсер етеді. Көміртек есебінен болаттың беріктігі мен қаттылығы арта бастайды, бұл өңдеу өнімділігін азайтады. Көптеген қоспалауыш элементтерді болатқа өңделімділік қасиеттерін жақсарту үшін қосады. Хром, молибден және вольфрам болатта карбидтер түзеді, олар құралдың тозуын тездетеді және өңделімділікті төмендетеді. Mn пен Ni болаттың беріктігі мен соққы тұтқырлығын арттырады, бұл өңделімділікті төмендетеді. Қорғасын, күкірт және фосфор сияқтылар болатқа өңдеу өнімділігін арттыру үшін қосылуы мүмкін. Қоспалар күшті, температураны және тоқырау аймағының түзілуін азайта отырып, құрал мен жоңқа арасындағы үйкеліс коэффициентін азайтады. Осы эффектілердің нәтижесінде құралдың қызмет ету мерзімі және бет сапасы жақсарады.

4.1.2.2 Кесу күші және энергия тұтыну критерийлері

Материалды өңдеуге қажетті күштер тұтынылған қуатқа тікелей қатысты. (4.1 сурет). Сондықтан көбінесе құралдың күштері кесудің үлестік энергия бірліктерімен көрсетіледі. Бұл анағұрлым жоғары үлестік энергиялар материалдың анағұрлым төмен өңделімділігін білдіретін бағалау әдісіне әкеледі. Бұл әдістің артықшылығы – басқа факторлар рейтингке көп әсер етпейді. Одан басқа, бұл аз уақыт алады, алайда, бұл күрделі аппаратураны (динамометрлер) және қондырғыларды талап етеді.

k_s кесудің үлестік энергиясы Z уақыт бірлігінде материалдың бірліктік көлемін кесуге арналған қуат P_c (энергия / уақыт) ретінде анықталады. токарлық операцияны болжай отырып, одан соң:

$$k_s = \frac{P_c}{Z} = \frac{F_c v}{f v} = \frac{F_c}{f} \text{ N/mm}^2 \quad (4.4)$$

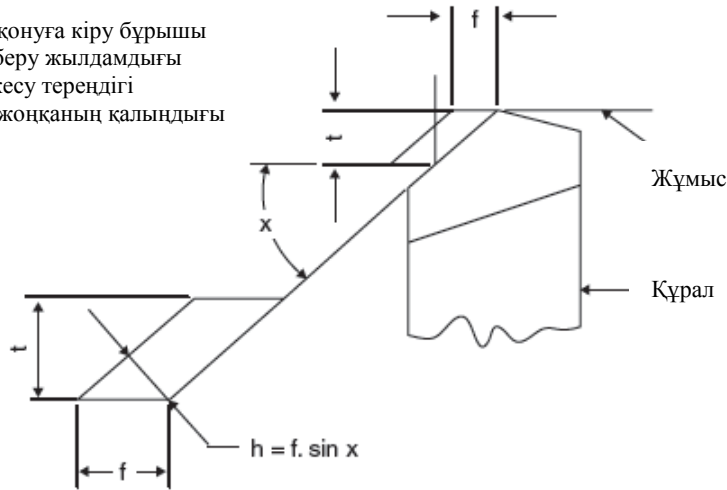
ФК-кесудің негізгі күші (тікелей динамометрдің көмегімен өлшенді).

k_s Н/мм² түрінде көрсетілгендіктен, оны көбінесе кесудің үлестік кедергісі деп атайды. Бұл параметр өңделетін материалдың типіне байланысты. Алайда бұл материалдық константа емес, бұл кесу шарттарына байланысты, әсіресе берілу жылдамдығына пропорционал h жоңқасының деформацияланбаған қалыңдығына f байланысты (4.3 сурет).

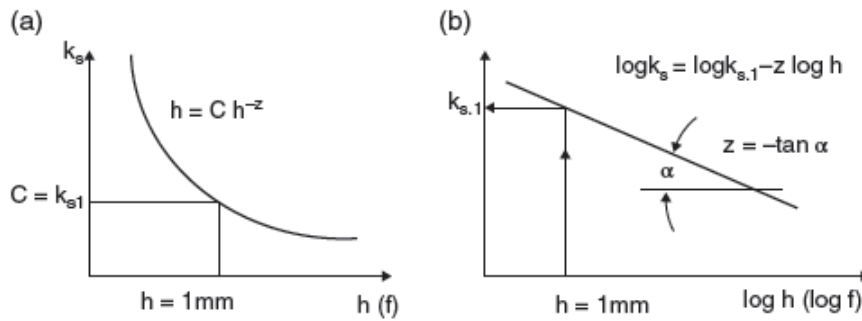
$$k_s = Ch^{-z} \quad (4.5)$$

log-log координаттары бойынша кесте құрған кезде ол тік сызық болып табылады (4.4 b сурет). Екі теңдеу сызбамен 4.4. суретте көрсетілді. k_s арқылы осындай жұмыс жағдайларында өңделетін материалдың өңделімділігі жеткілікті түрде дәл бағаланады.

x = қонуға кіру бұрышы
 f = беру жылдамдығы
 t = кесу тереңдігі
 h = жоқаның қалыңдығы



4.3 сурет. Дәлдеу кезінде жоқаның көлденең қимасының өзгермеген ауданы



4.4 сурет. k_s пен h [5] арасындағы эмпириялық қатынастар, (a) k_s - h қатынасы және (b) $\log k_s$ - $\log h$ түзу қатынасы

Процесс параметрлерін таңдау кесудің жоғары режимдерін орнату есебінен азайтылатын үлестік энергияға елеулі әсер етуі мүмкін (берілу жылдамдығы, кесу жылдамдығы, кесілу тереңдігі), сол арқылы өңдеу уақытын қысқартады, бірақ құралдың қызмет ету мерзімі мен сыртқы беттердің тазалығына зиян келтірмейтіндей шамалар аралығының шеңберінде. 4.4а-суретте жоққа қалыңдығына және соған сәйкес металды жою жылдамдығына байланысты өңдеу процестері үшін энергияға үлестік қажеттілік көрсетілген.

Кесудің арнайы энергиясын анықтауға болады, алайда, қосымша ваттметрді пайдалана отырып, осылайша орнату мен күш түсіру нәзік динамометрлерінің пайдасын болдырмайды. Алайда кесудің үлестік энергиясы қосымша ваттметр көмегімен анықталуы мүмкін, бұл күрделі динамометрлерді орнатуымен және күшімен пайдаланбауға мүмкіндік береді.

$$\begin{aligned}
 P_c &= P_2 - P_1 \\
 &= \frac{F_c \cdot v}{60} \\
 &= \frac{k_s \cdot f \cdot t \cdot v}{60}
 \end{aligned}
 \tag{4.6}$$

Содан кейін
$$k_s = \frac{60(P_2 - P_1)_\eta}{f \cdot t \cdot v} \text{ N/mm}^2 \quad (4.7)$$

v	=	кесу жылдамдығы (м / мин)
f	=	беру жылдамдығы (мм / айн)
t	=	кесу тереңдігі (мм)
η	=	станоктың жалпы тиімділігі

Бұл әдіс k_s үлестік кесу энергиясын, соған сәйкес материалдың өңделімділігін дұрыс бағалауды қамтамасыз етеді. Алайда бұған жетіспеушілік кедергі келтіреді, өйткені айнымалы жүктеме кезінде жетектің тиімділігі дәл бағаланбайды.

4.1.2.3 Сыртқы бетті әрлеу критерийі

Сыртқы бетті әрлеу кейде материалдың өңделімділігін бағалау үшін пайдаланылады (4.1 сурет). Жұмсақ пластикалық материалдар тоқырау аймағын түзу үрдісіне ие. Тот баспайтын болаттар, ыстыққа төзімді қорытпалар және деформациялық беріктікке қабілеттілігі жоғары басқа да материалдар ереже бойынша тоқырау аймағын түзеді. АІ-қорытпалар, суық өңделген болаттар мен еркін өңделіп жатқан болаттар тоқырау аймағын түзе алмайды, сондықтан олар өңделуге анағұрлым бейім болып есептеледі. Бұл критерийдің артықшылығы – ол сәйкесті қондырғының көмегімен өлшенеді. Оның кемшілігі кейде мәнге ие болмауы. Мысалы, бастапқы сыртқы бетте мәнге ие емес. Бағалаудың бұл әдісі сондай-ақ басқа әдістермен сай келе бермейді. Ті-қорытпалар осы критерий бойынша жақсы бағаланады, төменгілер – құрал ресурсы критерийі бойынша, ал аралықтағылар энергия тұтыну критерийі бойынша [6] бағаланады. Бұл критерий негізінен кесудің анағұрлым жоғары жылдамдығы, анағұрлым төмен берілу жылдамдығымен кесу тереңдігі қолданылатын әрлеу операцияларында пайдаланылады. Одан басқа, әрлеу де кең кескіш және қолайлы майлау-суыту сұйықтықтары бар құралдар ұсынылады. Құралдың бастапқы өңдеумен салыстырғанда аз тозуына жол берген жөн.

4.1.3 Қиын өңделетін материалдардың өңделімділігін арттыру

Көптеген әдістер қиын өңделетін материалдардың (ҚӨМ) өңделімділігін жақсарту үшін әзірленді, мысалға, ыстық өңдеу, ультрадыбыстық көмекші өңдеу (УКӨ), жоғары жылдамдықпен өңдеу (ЖЖӨ), бұл жерде суытудың кеңейтілген мүмкіншіліктері, техника, жабдықты криогендік емдеумен қорытпаларды механикалық өңдеуге еркін бекіту (4.5 сурет).

4.1.3.1 Еркін өңделетін болаттары мен қорытпаларын қабылдау

1. Болатты еркін өңдеу

Болаттардың көбісі механикалық өңдеуден өтеді және күш олардың өңделімділігін жақсартуға бағытталған, механикалық өңделмеген болаттары алу үшін негізінен қорғасын (этилденген болаттар), күкірт (сульфурленген болаттар) және фосфор (фосфорланған болаттар) қосу жолымен. Бұл қоспалар жылжуға беріктігі төмен пленкаларды тудырады, осылайша, құрал-жонқаның шекарасындағы екінші жылжу аймағындағы үйкелісті азайтады.



4.5 сурет. Қиын өңделетін материалдардың өңделімділігін арттыру әдістері

- (a) *Қорғасындалған болаттар*: Қорғасын балқытылған болаттарға қосылады және қорғасынның дисперсиялық ұсақ бөлшектерінің пішініне енеді. Қорғасын темірде, мыста, алюминийде және олардың қорытпаларында ерімейді. Осылайша кесу кезінде жетекшілік бөлшектері қатты майлау ретінде әрекет ете отырып құрал-сындыру интерфейсімен кесілген және майланған. Сондай-ақ, қорғасын бастапқы жылжыту аймағында жылжу кернеуін төмендетуі мүмкін, осылайша кесу күші мен энергия тұтынуды азайтуы мүмкін. Экологиялық проблемаларға байланысты қазіргі уақытта висмут пен қалайы (қорғасынсыз болаттар) пайдасына этилденген болаттарды пайдаланудан бас тарту үрдісі байқалады). Этилденген болаттар АТБИ идентификациялау жүйесінің екінші және үшінші сандары арасындағы L әрпімен сәйкестендіріледі, мысалы, 10L45.
- (b) *Тазартылған және қайта фосфорланған болат*: Күкірттің жоғары құрамы (қайта сульфурленген болаттар) жылжудың бастапқы аймағында кернеуді күшейткіштер ретінде әрекет ететін бақыланатын, глобулярлы форманың MnS қосуын құрайды. Нәтижесінде, чиптер шағын және оңай бұзылады, осылайша өңдеу жақсарады. Жағымсыз салдары-икемділіктің төмендеуі, сондай-ақ шаршау беріктігі және созылу беріктігінің шамалы төмендеуі. Күкірт, алайда, темір сульфидінің пайда болуын болдырмау үшін Mn жеткілікті мөлшері болмаса, темір сульфидінің болуына байланысты болаттың өңделуін қатты төмендетуі мүмкін. Болаттағы фосфор да олардың қаттылығын арттыру есебінен өңдеуін жақсартады. Қайта фосфорланған болаттардың икемділігі нәтижелеуші болаттарға қарағанда әлдеқайда аз.
- (c) *Кальций-қышқылданған болаттар* Бұл болаттарда кальций алюмосиликатының қабыршықтары пайда болады (CaO, SiO₂ және Al₂O₃); демек, кесетін құралдар кратерінің тозуы, әсіресе кесудің жоғары жылдамдығы кезінде, олардың әсер етуінің осындай қиындықтарының механикалық қасиеттерінің нашарлауынсыз азайтылуы мүмкін.

Бұрандама жоғары қаттылық және демпфирациялық қабілеті бар қатты станоктарды пайдалануды талап ететін проблема болуы мүмкін. Дегенмен, ферритті тот баспайтын болат жақсы өңделеді (серия АТБИ 400). Мартенситті болат (сондай-ақ АТБИ 400 сериясы) абразивті болып табылады, Тоқырау аймағының пайда болу үрдісі бар және кратердің тозуына жоғары ыстық қаттылығы мен төзімділігі бар аспаптық материалды талап етеді. Тот баспайтын болаттан жасалған шөгінді материалдар берік және абразивті, сондықтан олар үшін қатты абразивті құрал-саймандық материалдар қажет.

Қажет болған жағдайда, өңдеуді жақсарту үшін күкірт, фосфор, селен, теллур, қорғасын және висмут сияқты қоспалаушы элементтерді пайдалана отырып, еркін механикалық өңдеу қасиеттерін беруге болады. Бұл маркалар айтарлықтай төмен коррозиялық төзімділікке ие және олар стандартты нұсқасымен салыстырғанда нүктелі коррозияға ерекше бейім. Тот баспайтын болатты өңдеу туралы 5-тарауда нақты айтылған.

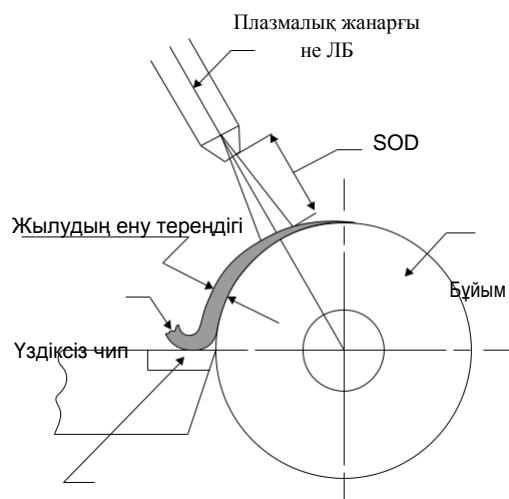
4.1.3.2 Термиялық өңдеу (ыстық өңдеу)

Алғаш болып Tigham компаниясы дайындаманың материалын жұмсарту идеяларымен 1889 жылы ыстық өңдеу процесін енгізді, сол арқылы бір бөлігі немесе барлық дайындама қыздырылады. Қыздыру өңдеуге дейін немесе өңдеу уақытында жүргізіледі. Зерттеушілер дайындаманы қыздырудың түрлі әдістерін қолданды [7]. Ыстық өңдеу процесі рекристаллизация температурасынан жоғары дайындаманы қыздыру арқылы суық беріктендіруді болдырмайды, осылайша кесу кедергісі азаяды және өңдеу жақсарады. Ең жоғары шекті температура дайындама материалының рекристаллизация температурасы болуы тиіс, өйткені неғұрлым жоғары қыздыру температурасы дайындамада жағымсыз құрылымдық өзгерістер тудыруы және тіпті қыздыру құнын арттыруы мүмкін. Ыстық өңдеу кезінде жоңқаның қалыңдығының қатынасы температураның ұлғаюымен артады. Демек, материалдың өңделуі температураның ұлғаюымен жақсарады және жоғары температурада алынған жоңқа үздіксіз болады, ал әдеттегі өңдеу кезінде ол үзік болады. Дайындама температурасының құралдың беріктігіне әсері өте маңызды екені анықталды [8,9].

Термиялық өңдеудің негізгі тұжырымдамасы (ТӨНТ) тікелей кескіш құралдан бұрын дайындамаға айтарлықтай жылу мөлшерін қосу болып табылады, сондықтан материал жұмсарады, бірақ құрал ұштығының беріктігі нашарламайды. (4.6 сурет). Қатты температуралық градиент қажет, сонда қыздыру көзі энергиясының жоғары тығыздығы бірінші дәрежелі мәнге ие болады. Екі негізгі жылу көзі-плазмалық доға және энергия тығыздығы бар лазерлік сәуле 1×10^4 и 1×10^7 Вт/м² сәйкесінше. Плазмалық доғаның өзек температурасы 8000°C және сыртқы бетінің температурасы 3600°C. Ол дайындаманың материалында оны қолдану нүктесі мен кесетін құрал арасындағы дайындаманың шеңберінің шамамен бір ширегінде 1100°C өндіре алады.

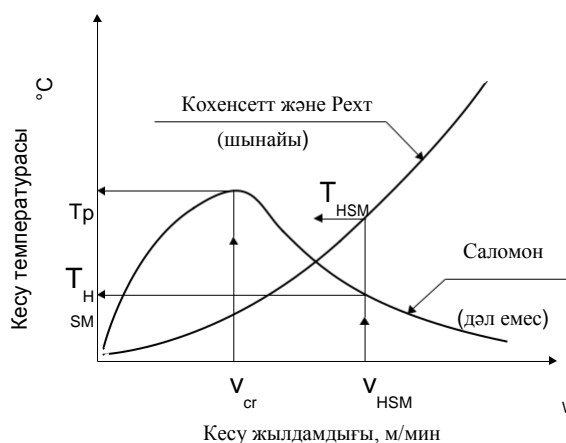
4.1.3.3 Жоғары жылдамдықпен өңдеу тұжырымдамасы және анықтамасы

Өңдеудің жоғары жылдамдығы тұжырымдамасын Саломон (Германия патенті: 523594, 1931) 16 500 м/мин дейін кесудің жоғары жылдамдығын пайдалана отырып, түсті металдарды фрезерлеуде жүргізілген сынақтар кезінде енгізді. Оның бақылауына негізделі отырып, кесу температурасы (Тр) берілген кесу жылдамдығы кезінде шыңға жетті (vcr). Алайда, оның моделіне сәйкес кесу жылдамдығын одан әрі арттыру бойынша



Кұралды енгізу
(карбид, БКН, немесе керамика)

4.6 сурет Термиялық өңдеу схемасы.



4.7 сурет Жоғары жылдамдықты өңдеу кезінде кесу жылдамдығынан кесу температурасының тәуелділігі. Саломон, сондай-ақ Кохенсетт және Рехт үлгілері бойынша.

($v_{жжө}$) температура төмендеді ($T_{жжө}$) (4.7 сурет). Берілген деректер төмендеу үрдісінің шындыққа сәйкес келмейтінін көрсетеді.

Оның орнына температура жұмыс материалының балқу нүктесіне жақын жылдамдықпен көтеріледі, Саломон мәлімдегендей (4.7 сурет) [11] өте жоғары жылдамдықтардан құламайды.

Жоғары өнімділікке және 1950 жылдардың соңынан өңдеу құнының төмендігіне қойылатын талаптарды арттырумен қоса металды жою жылдамдығын арттыру үшін көп зерттеулер жүргізілді (МЖЖ), әсіресе аэроғарыш және автокөлік өнеркәсібінде қолдану үшін. Бұл материал үшін ӨЖЖ-ні жоғары жылдамдық ретінде анықтауға болады, одан жоғары жылжыту локализациясы деформацияның бастапқы аймағында толығымен дамиды.

Жалпы басшылық ретінде қолайлы ұсынысты Туркович төмендегідей жасады [12]:

- Жоғары жылдамдықты: 600-1800 м /мин
- Өте жоғары жылдамдық: 1800-18 000 м/мин
- Ультра жоғары жылдамдық: 18 000 м/мин жоғары.

Саломон жүргізген зерттеулер қазіргі уақытта тарихи қызығушылықты ұсынады, өйткені ағымдағы зерттеулер анағұрлым соңғы деректерді анағұрлым күрделі әдістерді пайдалана отырып әзірлейді. Одан басқа, Саломон интерпретациялары ЖЖБ-ге қатысты шатасулар мен жалған күтулерге жауапты

болды. ӨЖЖ алғашқы жүйелі зерттеулерін Lockheed Aircraft Corporation-да Вон жүргізді [13-15]. Бұл зерттеу жұмыстарында Вон ӨЖЖ-дегі МЖЖ үшін өте маңызы бар айнымалыларды зерттеді, олар:

- машина типі мен өлшемі;
- қолжетімді қуат;
- кескіш құрал;
- өңдеу параметрлері (жылдамдық, беріліс және кесу тереңдігі).

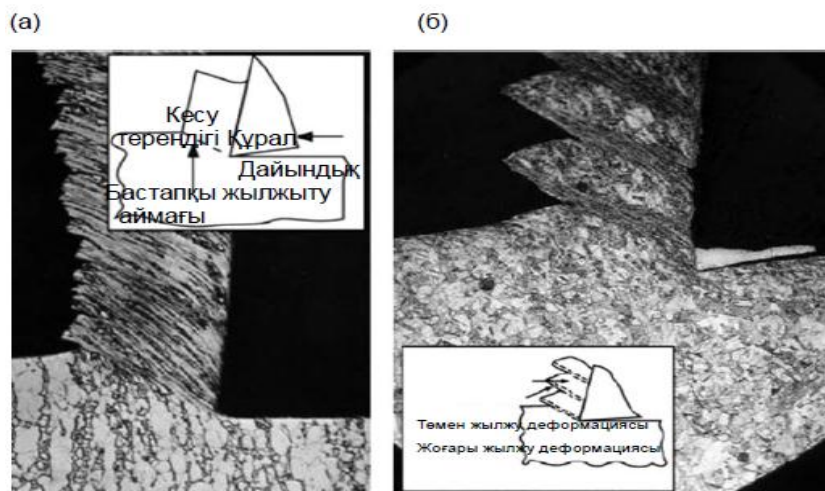
Компьютерлік басқару жүйесі саласындағы соңғы жетістіктер жоғары өнімді жоғары жылдамдықты автоматты станоктарды дәл басқаруға мүмкіндік берді. Мойынтіректерді (мойынтірек) жобалау, кесу құралы үшін құралдар мен материалдарды автоматты ауыстыру саласындағы даму КҚӨ материалдарын және ӨЖЖ жағдайында алюминий қорытпаларын тиімді өңдеуге қабілетті станоктарды әзірлеуге үлес қосты.

1970-жылдары АҚШ әскери теңіз күштері ӨЖЖ-ні өндірістік ортада пайдалану мүмкіндігін зерттеу үшін Lockheed Missiles and Space Co. компаниясымен біріге отырып сынақтар өткізді, өндірісті жақсарту үшін бірінші Al-қорытпалармен, одан кейін Ni-Al-қоламен. 1970-жылдардың соңында және 1980-жылдардың басында General Electric компаниясы Al-қорытпаларды, Ti-қорытпаларды, Ni негізіндегі ыстыққа төзімді қорытпаларды және болаттарды өңдеуге арналған деректер базасын ұсынды [16].

ӨЖЖ-нің негізгі мақсаты өңделген бөлшектердің сапасын сыртқы беттің дәлдігі мен тазалығына қатысты сақтай отырып немесе тіпті оларды жақсартып отырып металды жою жылдамдығын (МЖЖ) арттыруда. Жоғарыда айтылғандай, Z жону кезіндегі МЖЖ кесу жылдамдығының, f беріліс жылдамдығының және t кесу тереңдігінің көбейтіндісі ретінде қарастырылады. Сондықтан өнімділікті арттыруға v , f және t параметрлерінің ұлғаюы әсер етеді. Алайда, тот баспайтын болат және ыстыққа төзімді қорытпалар сияқты КҚӨ материалдарын өңдеу кезінде f және t параметрлерін ұлғайту қажет емес, өйткені f ұлғаюы сыртқы беттің нашар тазалығына және t ($ft =$ көлденең кесу қимасының ауданы) да сондай кесу күштерінің едәуір өсуіне демек дайындамада және кесу құралында пайда болатын үлкен ауытқуларға байланысты өнім дәлдігінің төмендеуіне әкеледі. Одан басқа, бұл кескіш құралдың істен шығу қаупін арттырады, көп энергия тұтынуды талап етеді және қатты станоктарды пайдалануды талап етеді. Анағұрлым жоғары беріліс жылдамдықтарымен және кесу тереңдігімен механикалық өңдеу А1, жұмсақ қорытпалар немесе төмен көміртекті болат сияқты жұмсақ материалдарды өңдеу кезінде қолданылуы мүмкін.

ӨЖЖ-дегі жоңқалар морфологиясы

ӨЖЖ-де өңделетін материалдың түріне, оның физикалық, механикалық және металлургиялық сипаттамаларына байланысты жоңқаның екі түрі байқалады. Бұл үздіксіз жоңқа мен жоңқалай-локализацияланған (сегменттелген) жоңқа (4.8а, б сурет).



4.8 сурет а) Үздіксіз және б) Жылжымалы локализацияланған (сегменттелген) жоңқалар. (Kal-рақjian және т.б. алынды)

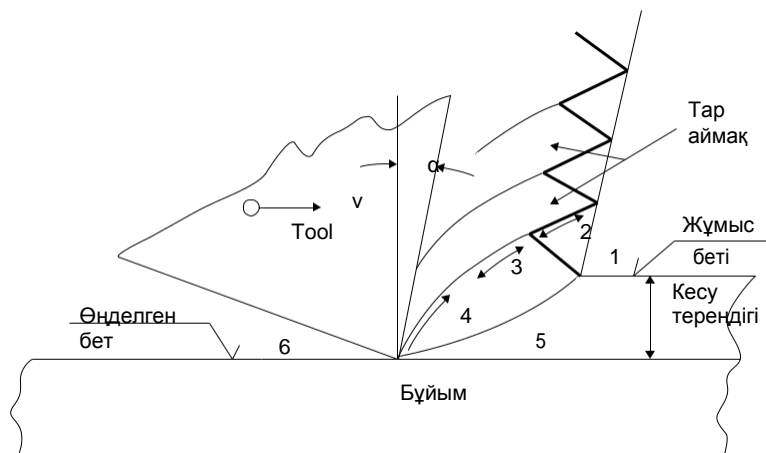
1. Үздіксіз жоңқа

Олар температура өткізгіштігі жоғары және қаттылығы төмен оцк/гцк құрылымдардың алюминий қорытпалары мен жұмсақ көміртектес болаттар сияқты металдары мен қорытпаларының ӨЖЖ-і кезінде пайда болады (4.8a сурет); материалдың деформациясы жылжудың бастапқы аймағы бойымен жүреді. Олар әдетте сыртқы бетті жақсы тазалағанмен бірақ үздіксіз жоңқалар кейде қажет емес, әсіресе автоматикада, өйткені оларда құралдар айналасында шатасу үрдісі бар; мұндай проблеманы жоңқа сындырғыш көмегімен шешуге болады.

Жылжымалы деформациялардан туындаған деформациялық беріктендіру нәтижесінде жоңқалар әдетте дайындаманың бастапқы материалына қарағанда қатты, икемділігі аз және берік болады. Көлбеу бұрышын азайту кезінде жылжудың деформациясы артады демек, жоңқа берік және қатты болады. Бұл жағдайда жоңқа қатты пластикалық материал ретінде байқалады [17].

2. Жылжымалы локализацияланған (сегменттелген) жоңқа

Сегменттелген жоңқалар, сондай-ақ тісті немесе біртекті емес жоңқалар деп те аталады, олар жылжу кернеуінің төмен және жоғары аймақтары бар жартылай үздіксіз жоңқалар болып табылады. Бұл Ti- қорытпалар, Ni негізіндегі ыстыққа төзімді қорытпалар, тот баспайтын болат және шыныққан легирленген болат сияқты материалдарда болады, олар негізінен төмен температура өткізгіштігімен, гексагональды тығыз оралған кристалды құрылымдармен және жоғары қаттылығымен сипатталады. Бұл типтің [17] қатты кернеулі және аздап кернеулі материалдың аралас аймақтарынан тұратын ара тәрізді (тісті) сыртқы профилі (4.8 b сурет) бар. Бұл бастапқы жылжу аймағында жылдам пластикалық (адиабатикалық) тұрақсыздықтың пайда болуымен байланысты. Бұл жоғарыда аталған температура өткізгіштігі төмен материалдар, көміртегі төмен болат және Al-қорытпалар сияқты температура өткізгіштігі жоғары материалдарға қарағанда апаттық жылжу аймағы бар жоңқамен өңделуіне байланысты болуы мүмкін.



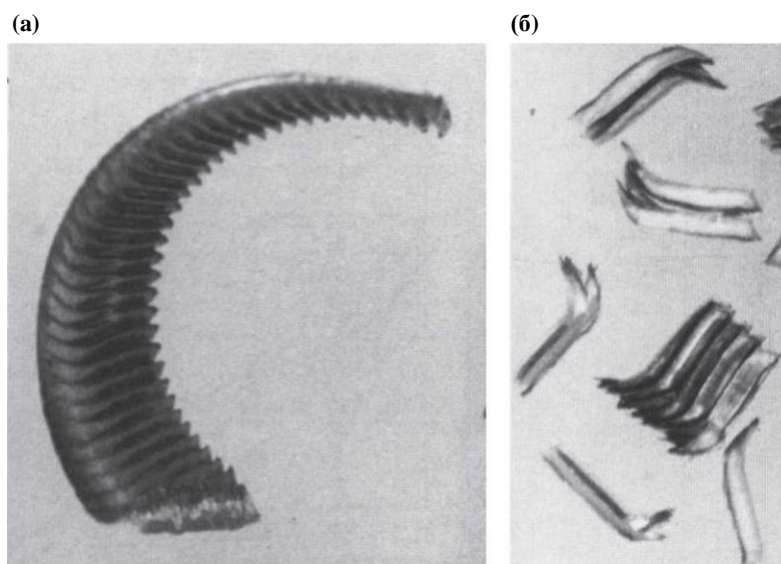
4.9 сурет. Командури моделі [20] ығысқан локализацияланған чиптің қалыптасуы. (Командуриден берілген [20]). (1) пішінделмеген беті, (2) интенсивті ығысудың салдарынан келесі сегменттен бөлінген, ығысу арқылы жойылған, беткейдің бөлігі; (3) қалпына келтіру сатысында катастрофалық ығысу нәтижесінде пайда болған қарқынды ығысу жолағы, (4) құралдың үстіне сырғайтын сегменттің қарқынды кесілген беті, (5) ығысу аймағында және (6) өңделген жердегі локализацияланған деформация.

4.86-суреттегі тісшелер өңделетін материалдың металлургиялық ерекшеліктеріне тән және жабысу-сырғу жағдайларының туындауынан туындаған "құрал-жоңқа" бөлімінің шекарасында материалдың әр түрлі беріктігінен туындаған. [19].

Командури [20] өз моделінде жоңқаның қалыптасу механизмін екі кезеңге бөлді (4.9 сурет). Біріншісі осы аймақтағы жазықтықтың бойымен жылжудың апатты бұзылуына әкелетін жылжудың бастапқы аймағындағы тар жолақтағы пластикалық тұрақсыздықпен және деформацияның оқшаулануымен байланысты. Екінші кезең өңделетін материалдың аздаған деформациясымен шөгү процесімен қалыптасатын сегментті біртіндеп өсіру болып табылады. Сегменттің бұзылуының өршуіне қарай кернеудің жинақталуы осы сегмент пен оның алдындағы сегменттің арасындағы қарқынды ығысуды тудырды, осылайша бірінші кезеңді қайталайды және т.б. Алайда, бұл модельді сандық мағынада салыстыру жолымен, мысалы, эксперименталды жылдамдықтар мен модель берген мәндермен жоңқаның геометриясын тексеруге әрекет жасалған жоқ.

Жылжымалы локализацияланған жоңқалар белгілі бір жылдамдықтан жоғары пайда болған кезде олар жылдамдықтың артуымен сақталады. Жоңқаның әр түрлі пішіндеріне одан әрі ауысу кем дегенде 30 000 м/мин дейін болған жоқ [16]. Локализацияланған жылжу бар микросызбаларды кәдеге жарату жеңіл болғандықтан, олар үздіксіз микросызбалардан артық, әсіресе жоғары жылдамдықта, микросызбаның жекелеген сегменттері толығымен оқшауланған кезде. Алайда, жылжу кезінде локализацияланған жоңқаның қалыптасуы құралдың жоғары жылдамдықта тозуының жылдам төмендеуімен қатар жүрмеді.

Бірнеше металдармен және қорытпалармен жұмыс істегенде сегменттеу дәрежесі кесу жылдамдығына тікелей байланысты. Үлгі ретінде АТБИ 4340 айтуға болады, мұнда үздіксіз жоңқалар 120 м/мин жылдамдықпен қалыптасады (4.10а сурет). Дәл солай Инконель 718 60 м/мин төмен жылдамдықпен салыстырмалы үздіксіз жоңқаны қалыптастырады, бірақ 60-120 м/мин аралығы шекарасында сегменттеу басталады. Жоғары жылдамдықтарда қатты қатпарлану және ТІ-6АІ-4V сияқты титан қорытпалары болады, олар термоөңдеу шарттарына қарамастан, барлық жылдамдықтарда сегменттелген жоңқаларды құрайды.



4.10 сурет Кесу жылдамдығының АТБИ 4340 жоңқасының морфологиясына әсері, (а) кесу жылдамдығы 120м/мин және (б) кесу жылдамдығы 975 м / мин. (Фломнан алынды [18].)

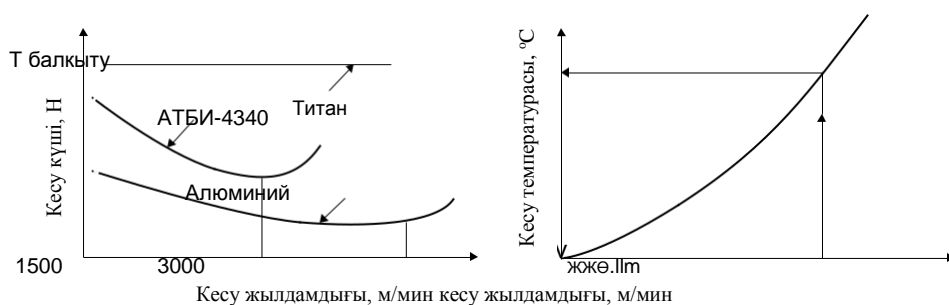
Кесу жылдамдығының ӨЖЖ-дегі шығу айнымалыларына әсері

Құралдың қолайлы төзімділігімен өңдеуге арналған кесу жылдамдықтарының аралығы өңделетін материалға байланысты өте кең. Алюминий 200-ден 1000 м/минутқа дейінгі аралықтағы кесу жылдамдығын пайдалану арқылы өңделуі мүмкін, ал тот баспайтын болаттар 50-ден 300 м/минутқа

дейінгі аралықтағы кесу жылдамдығымен өңделеді, онда кесу жылдамдықтары от 20-дан 400 м/минутқа дейінгі аралықтағы ыстыққа төзімді қорытпалар қолданылады [16]. Бұл жылдамдықтар қатты қорытпалы және керамикалық жарақтарды пайдалана отырып бастапқы өңдеу (өлшемдерге рұқсатнамаларды ерекше есепке алмай кесу және бетті таза өңдеу), таза өңдеу (қолайлы рұқсатнамалармен және бетті таза өңдеу үшін кесу) үшін жарамды. Жылдам кескіш болаттан жасалған құралдар үшін жылдамдықтар осы аралықтарға қарағанда төмен. Анағұрлым жоғары аралықтар карбидтер мен жабынды метал керамика үшін ұсынылған. Алмаз кескіштерге арналған жылдамдық кез келген жоғарғы аралықтарға қарағанда аздап жоғарылау. Жоғарыда көрсетілген шарттар үшін кесу тереңдігі 0,5-ден 12 мм-ге дейін, ал беріліс жылдамдығы - 0,15-тен до 1 мм/об дейін болады. 8000 м/мин кесу жылдамдығына АІ-ді алмаз құралмен жонған кезде жетуге болады деп бекітілген. Кесу жылдамдығының ӨЖЖ-дегі шығыс айнымалыларына әсері берілген:

Кесу жылдамдығы келесімен салыстырғанда: Flom [18] жұмысына сүйене отырып, АТБИ 4340 болатының ӨЖЖ-і кезінде дайындама материалына байланысты жылдамдық кезінде жылдамдықты ең төменгі шегіне дейін арттырумен қатар кесу күші азаяды (АТБИ 4340 үшін 1500 м/мин); бұл жылдамдықтан тыс күш баяу ұлғая алады (4.11 а сурет). АТБИ 4340 сияқты, алюминий 6061-Т6 3000 м/минутқа дейін жылдамдықтың ұлғаюымен қатар кесу күшінің азаюын көрсетеді, одан тыс кезде күш аздап ұлғаяды. АТБИ 4340 мен алюминийден айырмашылығы, Ті үшін кесу күші жылдамдықтардың барлық аралықтарында өзгермей қалады (4.11а сурет).

Соған сәйкес, ҚӨК материалдарының өңделімділігін жақсарту жоғары жылдамдықпен байланысты сыртқы беттің сапасын және дәлдікті жақсарту есебінен өңделімділікті жақсартумен қатар негізгі кесу үшін азайтуға байланысты кесудің меншікті энергиясын төмендету есебінен іске асырылады.



4.11 сурет ӨЖЖ-дегі кесу жылдамдығының кесу күші мен кесу температурасына әсері - сызбалар. (а) Кесу күшіне әсері және (б) кесу температурасына әсері.

4.3 кесте Құрал материалдарының ыстық қаттылығының және кейбір жұмыс материалдарын балқыту температуралары

Құрал материалы	Қаттылықтың ыстық температурасы (°C)	Өңделетін материал	Балқыту температурасы (°C)
ЖКБ	600	Алюминийлік	600-660
Карбидтер	1100	АІ-қорытпалар	~540
Керамика	1400	Ыстыққа төзімді қорытпалар	1300-1400
БКН	1500	Титан	1600-1650
Алмаз	1500	Болаттар	1400-1530

Крамерден [21] алынды.

Жылдамдыққа байланысты кесу температурасы: Зерттеулердің көбісі жоңқа бетінің/құрал температурасы дайындама материалын балқыту нүктесіне жақындай отырып жылдамдықпен ұлғаятынын көрсетті (4.11b сурет). АІ-қорытпаларын балқыту температурасы (~540°C) төмен болғандықтан және жабыны бар қатты қорытпалы құралдардың температуралық шектеулерінен біршама төмен болғандықтан АІ-қорытпалар үшін ең жоғарғы кесу жылдамдығы кескіш құралды алып қарағанда шектеусіз болып табылады [16].

4.3-кестеде әртүрлі құралдық материалдардың ыстық қаттылығының температуралары, сондай-ақ кең тараған кейбір жұмыс материалдарын балқыту температуралары келтірілген. 4.3 кестеден әр түрлі құрал материалдарын пайдаланып ӨЖЖ жұмыс материалының жарамдылығын бағалауға болады.

Жылдамдыққа байланысты сыртқы бетті әрлеу: Сыртқы беттің сапасында жылдамдықтың ұлғаюымен жақсаратын белгілер бар; алайда бұл нәтижелер құрал тозғандықтан және кескіш құралдың динамикалық үніне байланысты жылтырату әсерін қоса алғанда бірқатар себептер бойынша соңғы нәтиже болып табылмайды. [16].

Екінші жағынан алғанда кесу жылдамдығының ұлғаюы есебінен ББҚ ұлғаюы сыртқы беттің сапасын жақсартады және кесу күшін азайтады. ӨЖЖ пайдаланудың кемшілігі – Тейлордың белгілі тәуелділігі бойынша құрал ресурсына қолайсыз әсер ету. Бұл кемшілікке қарамастан, өңделімділік пен өнімділікті жақсарту үшін ӨЖЖ пайдалану дұрыс үрдіс.

Құралдың жылдамдыққа қатысты тозуы: Екі негізгі механизм ӨЖЖ-мен байланысты [21]. Ерітіндінің химиялық тозуының мұндай жоғары жылдамдығы және диффузиялы-шектеулі тозу жоғары жылдамдығы:

1. Химиялық ерудің жоғары жылдамдықтағы тозуы

ӨЖЖ-дегі кесу жылдамдықтарының аралығында құрал материалының дайындамада химиялық еруі тозудың анағұрлым маңызды факторы болып табылады. Мәні бойынша құрал материалы ағымдағы жоңқада ериді. Еруге ең төзімді құрал материалы ең аз тозуды көрсетеді.

2. Жоғары жылдамдықтағы диффузиялық-шектеулі тозу

Кесу жылдамдығының ұлғаюына қарай кесу температурасы жоңқалы материалды игеру барлық жерде құралдың шет жағында болатын деңгейге дейін көтеріледі. Адгезиялық материал қабаты диффузиялық-шекаралық қабат ретінде әрекет ете отырып, құралдың бетіне қанық болады, соның салдарынан құрал материалының жоңқаға тасымалдау жылдамдығы төмендейді және тиісінше кратердің тозуы азаяды (интервал (а), 4.12 сурет). Диффузия коэффициенті температурамен экспоненциалды жоғарылайтындықтан, ең аз тозу үшін жылдамдықтан жоғары кесу жылдамдығын одан әрі арттыру кратердің тозуының тез өсуіне әкеледі (интервал (b), 4.12 сурет).

ӨЖЖ үшін құрал таңдау

ӨЖЖ тек жаңа құрал материалдарын және БФФТ (бу фазасынан физикалық тұндыру) немесе бізге көп қабатты және наноөлшемді жабындарды алуға мүмкіндік беретін заманауи технологияларды қолдану арқылы ғана мүмкін болады [6]. Бұл жабындар өте жоғары ыстыққа төзімді, бұл ауыр кесу жағдайында жабынды құралдарды пайдалануға мүмкіндік береді. ӨЖЖ-дегі құралдың тозу тетіктеріне қатысты пайымдауларға сүйене отырып, келесі ұсыныстарды қарастыру керек:

- Құрал материалының химиялық еруі жұмыс материалының балқу температурасында да елеулі болмайтындай етіп, жұмыс материалына қатысты химиялық тұрақты құрал материалын таңдаңыз.
- Кесу жылдамдығы диффузиялық-шектеулі тозуға жақындау үшін таңдалуы тиіс.
- Қорғаныс қабаттарын (жабындарды) жағу арқылы дайындамадан құралды оқшаулау.
- Ті фрезерлеу кезінде түрлі майлар осы тұрғыдан табысты болды.

Al-қорытпалар үшін құрал таңдау

Al-қорытпаларды өңдеу кезінде кесу температурасы балқыту температурасының төмендігіне және жоғары жылу өткізгіштігіне байланысты шектелген. Химиялық ерудің тозуы ең аз және тозу, ең алдымен, құрал материалының екінші фазаның қатты бөлшектерімен үйкелуінің салдары болып табылады. Тозуға төзімділік құрал материалының қаттылығын арттырумен азаяды. ЖКБ және қатты қорытпа құралдары алюминий қорытпаларының көпшілігін өңдеу үшін қолайлы, ал ПКА (поликристалды синтетикалық алмаз) Al-Si-қорытпаларының жоғары абразивті құймасы үшін қолайлы (10-20% Si) [16].

Болаттар үшін құралдар таңдау

Оксидтер химиялық тұрақтылықпен шектелмеген жалғыз потенциалды құрал материалдары болып табылады. Дамудың ең келешегі бар бағыты осы оксидті құралдардың соққы тұтқырлығы мен

беріктігін арттыру болып табылады. 1300-1400 ° C аралығында ыстыққа беріктігі жоғары БКН (бордың кубтық нитриді) ерекшеленетін құрал материалдарын әзірлеу шектеулі еритін тозудан құрал-сайманның қызмет ету мерзімін тиісті арттырумен диффузиялық тозуға көшуге мүмкіндік беруі мүмкін. Балама ретінде 1200 м/мин және одан жоғары аралықта кесу жылдамдығымен орташа қаттылығы (35-50 HRC) болаттан жасалған БКН пайдалану орынды деп танылды. [16].

Ыстыққа төзімді қорытпалар үшін құрал таңдау

Ұсыныстар болатқа арналған ұсыныстарға ұқсас. Оксидтер NI және Со-негізгі ыстыққа төзімді қорытпаларға қатысты химиялық тұрақты, бұл қатты оксидті құралдарды әзірлеуді басым міндет етеді. Диффузиялық-шектелген тозуға көшу жоғары жылдамдықта жүреді. Демек, ыстық беріктігі жоғары кез келген жаңа композициялар ӨЖЖ ыстыққа төзімді қорытпаларында қолданылуы мүмкін. Мысал ретінде Сиалон деп аталатын Si_3N_4 және Si_3N_4 , Al_2O_3 қорытпалары негізінде құрал материалын алуға болады. Бұл құрал материалдары жоғары жылдамдықпен никель қорытпаларын өңдеу кезінде өте тиімді. Осы құралдық материалдардың салыстырмалы төмен химиялық тұрақтылығына байланысты тозудың өте жоғары жылдамдығын қамтамасыз ету үшін жеткілікті ыстық беріктігі бар құралдық материалдың екінші мысалы (БКН-ға қосымша) болып табылады деп болжанады.

Ti-қорытпалар үшін құрал таңдау

Ti және Ti-қорытпалардың жылу өкізгіштігі, жылу сыйымдылығы төмен және балқыту температурасы жоғары. Бұл сипаттамалар қалыпты жылдамдық кезінде де кесу температурасы жоғары болатынына кепілдік береді. Одан басқа, Ti тез тозуды тудыратын барлық белгілі құрал материалдарымен жоғары химиялық реакцияға ие. Ең тозуға төзімді аспаптық материалдар (карбидтер мен алмаздар) қазірдің өзінде анықталған. Сондықтан зерттеудің ең келешегі бар бағыты құралдың жоңқамен өзара әрекеттесуін төмендету үшін майлаудың тиімді әдістерін әзірлеу болып табылады. Одан басқа, Ti-қорытпалардың өнімділігін арттыру үшін ұсынылған выступ сияқты құралдың жаңа геометриясы. Құралдың ажырамас бөлігі ретінде (ілгек) мөлшері кесу тереңдігіне тең, ал оның қалыңдығы фланецтің шекті тозуына тең.

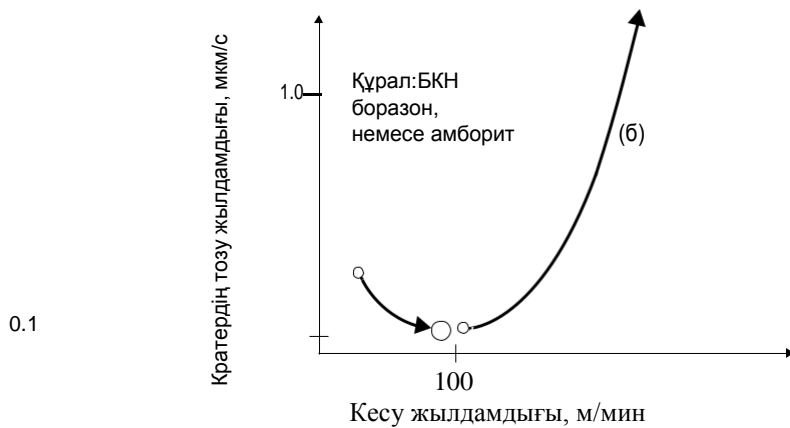
Құралдың тез тозуы Ti-қорытпалар мен КҚӨ-дің басқа қорытпаларын өңдеу кезінде күрделі мәселе болып қала береді, тіпті кескіш маркалары мен геометриялық сұйықтықтарды, өңдеу параметрлерін дұрыс таңдаудың арқасында кесу жылдамдықтары Ti және Ti-қорытпалар үшін үш-бес есе ұлғайтылса да. Құралдың қызмет ету мерзімін біртіндеп ұлғайту құралдың жаңа геометриясы және айналмалы кескіштерді пайдалануға келіп тіреледі.

4.1.3.4 Ультрадыбыстық өңдеу

УДӨ – бұл өңделімділікті жақсарту үшін кесу құралының ультрадыбыстық тербеліс әдісі.

УДӨ - дағы маңызды мәселе түрлендіргішті басқару жүйесін таңдау болып табылады, ол өз тербеліс жүйесінің жиілігіне сәйкес ВЧ-түрлендіргіштің тербеліс жиілігін бағыттай отырып, түрлі құрал ұстаушыларын бейімдейді. Одан басқа, кесу кезіндегі динамикалық жүктеме US тербелісінің демпфирленуін тудырады. Осы қиындықтарды жеңу үшін Скелтон авторезонанстық басқаруды ұсынды [22] және кесу кезінде резонанс тербелісін ұстау үшін оны Бабицкая мен авторлар жүзеге асырды. [23].

Дәстүрлі механикалық өңдеумен салыстырғанда, УДӨ шудың деңгейін, құралдың тұрақтылығын, беттің кедір-бұдырлығын және дәлдігін төмендетуде айтарлықтай жақсартады. УДӨ жоғары дәлдігі кесетін құралдың да, дайындаманың да серпімді деформациясының азаюымен, сондай-ақ олардың температураларының азаюымен түсіндіріледі. Дәстүрлі өңдеумен салыстырғанда УДӨ кезінде едәуір төмен температура кесу құралы US-тербелістердің әрбір циклі шегінде жоңқадан бөлектенеді деп түсіндірілуі мүмкін. Мұндай үзік байланыс жылуөткізгіштіктің жалпы уақытын қысқартуға әкеледі.



4.12 сурет Кесу жылдамдығының БКН кратерінің тозу жылдамдығына әсері-схемалық.

4.1.3.5 Суытудың алдыңғы қатарлы технологиялары

Майлау-суыту сұйықтықтары майлау, суыту және жоңқаларды жуу функцияларына байланысты өңдеу операцияларының өнімділігін жақсартады. Алайда оларды пайдалану денсаулық пен қоршаған ортаны ластау қауіптілігі тұрғысынан алғанда ең күрделі мәселе бола бастады. Сондықтан оларды минимизациялау міндетті болып табылады; одан басқа, бұл майлау шығындары мен дайындаманы/құралды/машинаны тазалау циклінің уақытын үнемдеу есебінен экономикалық пайдаға әкеледі.

КҚӨ материалдарын өңдеу кезінде жылуды бөлу беріктігі төмен материалдарды өңдеуге қарағанда маңызды мәселе болып табылады.

Бұдан басқа, Ті-қорытпалар (шамамен 15 Вт/м²°С) және Инконельдер (шамамен 11 Вт/м²°С) сияқты КҚӨ материалдарының жылу өткізгіштігі төмен көміртекті және орташа көміртекті болаттарға қарағанда айтарлықтай төмен. Соған сәйкес металды кесу операциялары кезінде тиімді суытуды ескеру керек. КҚӨ материалдарды өңдеу үшін әр түрлі суыту технологиялары ұсынылады.

Криогендік суыту

Криогендік суыту кесу құралы материалының жұмсарту температурасынан айтарлықтай төмен температураны ұстап тұрудың тиімді тәсілі болып табылады. Бұл әдеттегі эмульсияны суытудың экологиялық қауіпсіз баламасы. Бұрын криогендік суытудың жалпы тәсілдері дайындаманы алдын ала суыту, жанама суыту, жалпы су басу және жабық ваннаны қамтыды. Сұйық азот жылуды сіңіреді, тез буланады және чип пен құрал бетінің арасында газ жастығын қалыптастырады, ол майлау функциясын атқарады. Криогендік суыту кезінде құрал температурасының төмендеуі кратер мен борттың тозуын төмендетеді [24].

Дұрыс пайдалану кезінде криогендік суыту (экологиялықтан басқа) криогендік суыту жүйесіне және криогенге қосымша шығындарды жапқаннан кейін де өнімділіктің, сондай-ақ жалпы өңдеудің үнемділігінің айтарлықтай артуын қамтамасыз ете алады. Сұйық азотпен криогендік суытудың оң әсерін тиімді суытумен, құралдың қаттылығын сақтаумен және криогендік сұйықтықтың жоңқа-құрал және жұмыс құрал бөлімінің шекарасымен қолайлы өзара әрекеттесуімен түсіндіруге болады. [25].

Жақсы бақыланатын қозғалтқышты пайдалану арқылы сұйық азотты сынықты қырғыш жағына және құралды іріктеп салу арқылы, құрал мерзімін арттыруға болады. Криогендік суытумен микро-температураны манипуляциялау КҚӨ материалдарды өңдеу кезінде жоңқаны бақылаудың ең жақсы құралы болып табылады. Криогендік суыту кезінде қатты балқитын құралдармен токарлық өңдеу кезінде кесіктерді, уатуды, адгезияны және диффузиялық тозуды тиімді баяулатуға болады, бұл құралдың қызмет ету мерзімін айтарлықтай жақсартуға әкеледі.

Ең аз майлау мөлшері

Ең аз майлау мөлшері концепциясы (ММК) дәстүрлі ылғалды өңдеумен байланысты экологиялық және кәсіби қауіп мәселелерін қамту үшін ұсынылды. ММК өңдеу кезінде өсімдік майының немесе биологиялық ыдырайтын синтетикалық эфирдің аз мөлшері құралдың ұшына сығылған ауамен шашырайды. Өнеркәсіптік қолданудағы майды тұтынуы шамамен 10-100 мл / х шекарасында. ММК қолдану арқылы өңдеу құралдың қызмет ету мерзімі тұрғысынан алғанда дәстүрлі ылғалды өңдеуге қарағанда үнемі жақсы болады.

ММК астындағы (майлайтын материал ретінде биологиялық ыдырайтын синтетикалық күрделі эфир) жабыны бар Инконель-718 қатты балқитын құралдармен (жоңқаның ұсақтағыштары бар) соңғы өңдеу кезінде майлау-суыту сұйықтық кесу нүктесіне бүйір және алдыңғы қырларындағы май тесіктері арқылы сығылған газбен берілді.

Оттегі мен аргонды тасымалдаушы газ ретінде салыстырмалы талдау аргонның жылу сыйымдылығының төмендігін, нашар жылу өткізгіштігі және нашар майлау сипаттамалары кесу температурасын және құралдың тозуын арттырады. Майлау мөлшерін ұлғайту тек бетінің әрленуін жақсартуға көмектесе алады. Суыту тиімділігі суытқыш газдың меншікті жылуына байланысты. Жоғары меншікті жылу сыйымдылығы бар хладагент құрал мен дайындамадан көбірек жылу ала алады.

Осылайша, ауа аргонмен салыстырғанда газ тасымалдаушы ретінде әрекет етеді. Нормаланған шарик тәріздес болатты (100Ст6) қисаю бұрышы теріс үш қабатты коммерциялық Карбид ұштарын пайдалана отырып жону кезінде аспап бүйірінің тозуы ММК (шүмектің ішінде араластыруға арналған құрылғы) және құрғақ кесу астында зерттелді. Құрғақ, тырмалы МЕАМ мен бүйірлік МЕАМ-ге сыртқы беттің кедір-бұдырлығы мен құралдың тозуы бойынша салыстыру жүргізілді. Құрғақ кесу мен ММК тырмалары әдетте бірдей екендігі байқалды. Бұл ММК -ны рейка бетіне жағу кезінде майлаудың кесу аймағына жетпейтінін білдіреді. Бұл жағдайда құралдың тозуы артады. МЕАМ әдісімен ұштың бүйір бетін майлау құралдың тозуын төмендетеді және құралдың қызмет ету мерзімін арттырады. Алайда, ММК әдісінің негізгі кемшілігі - егер қоспа тиісті түрде бақыланбаса тұман немесе қауіпті булардың пайда болуына және жұмыс ортасының ластануына әкелуі мүмкін.

Жоғары қысымды жылу тасымалдаушы

Жоғары қысымды суықагентті жеткізу (ЖҚС)-кесу аймағына жоғары қысымды сұйықтықты беруді қамтамасыз ететін жаңа технология. Сұйықтықтың жоғары қысымы құрал-дайындама мен құрал-жоңқа байланысы аймағына сұйықтықтың ең жақсы енуін және сол арқылы байланыс аймақтарын майлау есебінен ең жақсы суытқыш әсерімен және құрал тозуын төмендетуді қамтамасыз етеді.

АТБИ 1045 болатты жабыны бар қатты қорытпалы құралмен сұйықтық қысымында таза токарлық өңдеу кезінде (жоғары және төмен шығын), құрғақ кесу және сұйықтықты қарапайым қолдану арқылы (төмен қысым, жоғары шығын) құралдың тозуын зерттеді [26]. ГПК үшін жоғары қысымды сұйықтықтың үш бағыты пайдаланылды:

1. жоңқа-құралға (кесуге арналған құрал),
2. дайындама-құрал бөлімінің бетіне қарай бағытта (алдыңғы бет) және
3. екі қаптал мен алдыңғы бетке.

Құралдың ең ұзақ қызмет ету мерзімі сұйықтық жоғары қысымды және жоғары ағын жылдамдықтағы тырмалар мен бүйірлік беттерге бір мезгілде салынған кезде алынды, немесе ол жоғары қысымды және төмен ағынның бүйір бетіне ғана жағылған кезде алынды.

Сұйықтық тырмаға енгізілгенде, жоңқа мен құрал арасындағы адгезия күшті болды, бұл құрал бөлшектерін алып тастауға әкелді. Жоңқаның жабысқан материалы құралдан жоңқаның ағынымен жойылған кезде, бұл кратердің үлкен тозуына әкелді. Сұйықтық майлауды жүзеге асыру үшін жоңқа мен құралдың арасына ене алмады.

Құралдың қызмет ету мерзімі әдетте суытқыш сұйықтықты беру қысымын арттыру арқылы артады. Бұны РШҚ-ның жоңқаны көтеру және кескіш интерфейске жақынырақ қол жеткізу қабілетімен түсіндіруге болады. Бұл әрекет басып алу аймағының азаюына әкеледі, осылайша үйкеліс коэффициенті төмендейді, бұл өз кезегінде кесу температурасының және кесу күшінің төмендеуіне әкеледі. РШҚ кемшілігі - сұйықтықпен жасалған жоғары қысым кейбір сыртқы ақаулар жасай алады, олар механикалық өңдеуге ұшырауы тиіс.

4.1.3.6 Құрал материалдарының криогендік өңделуі

Криогендік өңдеу температурасы өте төмен материалдарға әсер етеді. Кесу құралдарының қызмет ету мерзімі криогендік өңдеу кезінде айтарлықтай артады деп есептеледі. Криогендік өңделген қатты қорытпалы құралдардың өнімділігін арттырудың негізгі себебі – карбид түзілуі жеңілдетіледі және біркелкі бөлінеді. Вольфрам карбидінің криогендік өңделген құралдары өңделмеген құралдармен салыстырғанда, әсіресе кесу жоғары жылдамдықтарында қолданғанда үлкен төзімділікке ие.

Криогендік өңделген ЖКБ жоғары тозуға төзімділігі мартенситке айналатын қалдық аустениттің азаюына байланысты. Бұл өңдеу шамамен 24 сағат бойы кейін бөлме температурасына дейін бақыланатын терең мұздату комбинациясын қамтиды (сұйық азоттың қайнау температурасы -196°C). Әрі қарай жіберу процесі орын алады [27].

Криогендік өңдеу штампты болат, ВПС және құралдардың тозуға төзімділігін арттыру тұрғысынан қатты қорытпалы құралдармен жақсы нәтижелер көрсетті. Криогендік өңделген негізгі материалдағы жабын өңдеу өнімділігін жақсарту үшін қолайлы. Одан басқа, криогендік өңдеу алдында босату ұсынылмайды, себебі босату процесінде карбидтердің және микроқұрылымдық фазалардың тұрақтануы криогендік өңдеу процесінде одан әрі трансформацияны тежейді.

Дегенмен, криогендік өңдеу құралдарының бірнеше кемшіліктері бар; мысалға, үздіксіз кесу кезінде бұл құралдардың өнімділігі нашарлайды және өңделмеген нұсқалардың өнімділік деңгейіне келтіріледі. Кесудің неғұрлым жоғары тереңдікте немесе бастапқы токарлық өңдеу кезінде криогендік өңделетін құралдың өнімділігі белгілі бір суыту әдістерімен токарлық өңдеу процесін қолдау арқылы ұстап тұруы мүмкін, бұл қосымша шығындарды талап етеді. Өңдеу жабынды құралдарда тиімді емес, өйткені ол құралдың қысқа мерзіміне әкеледі. Криогендік өңдеу кезінде жабыны бар материалды біркелкі емес сығу бөлім шекарасында пайда болатын жарықтардың пайда болуына әкелуі мүмкін.

4.2 Кескіш құрал материалдары

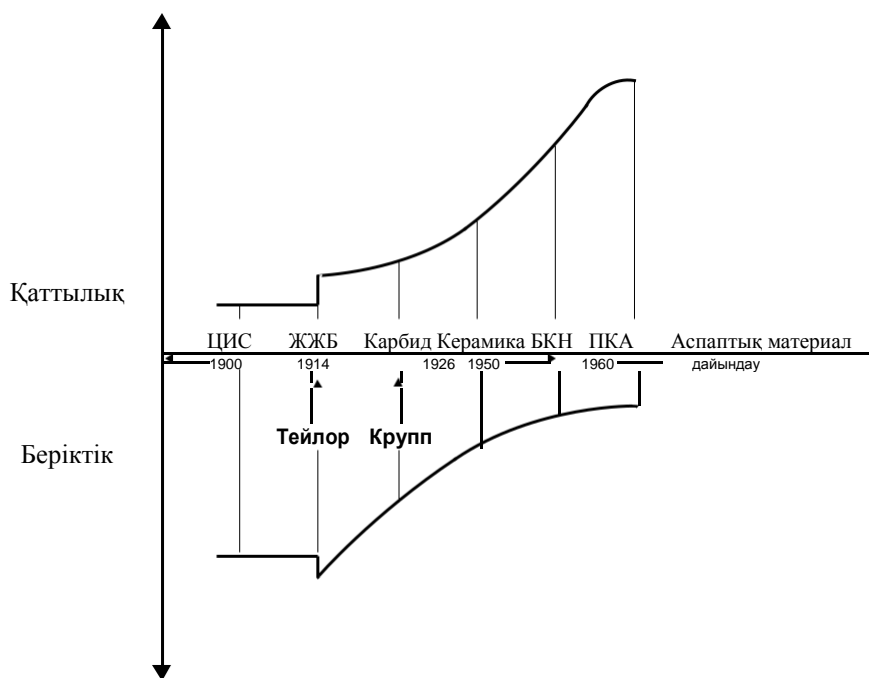
Жиырмасыншы ғасырдың басында Тейлор ВПО-ны аспаптық көміртекті болаттың (АКБ) орнына енгізді, осылайша, кесу жылдамдығын үшке арттырды. 1926 жылы Крупп кесу және қалыптастыру кезінде пайдаланылатын өте қатты жасалған Widia (немісше қысқарған Wie Diamant, яғни алмаз сияқты деген сөз) деп аталатын қатты қорытпалы материал әзірлеп шығарды, соған сәйкес ЖКБ жылдамдығын 3-6 рет басып озатын кесу жылдамдықтары жүзеге асырылды. Одан кейін керамика 1950 жылы жаңа құралдық материал ретінде көрсетілді оның жылдамдығы ЖКБ жеткен жылдамдықты 6-8 рет басып озды. Жабынды карбидтер және БКН сияқты аспаптық материалдардың жаңа әзірлемелері. Қазіргі уақытта поликристалды алмас құралдары негізінен 2 км/мин жоғары кесу жылдамдығына жетіп, таза өңдеуде қолданылады [1].

4.2.1 Мінсіз құрал материалдарының сипаттамасы

Кесетін аспаптарда пайдаланылатын материалдар жалпы құрылыс қосымшаларында пайдаланылатындардан ерекшеленетін талаптарға жауап беруі тиіс. Кесу құралы 1000°C жоғары температура, қатты үйкеліс және жоғары динамикалық кернеу сияқты ауыр жағдайларға ұшырайды. Құрал жоғарыда көрсетілген шарттарды сақтау үшін жеткілікті берік болуы керек.

Сәйкесінше, ерекше құралдық материал төмендегідей сипатталуы тиіс:

- Жоғары ыстық қаттылық (тығыздық), яғни ол өзінің қаттылығын жоғары жұмыс температурасында сақтайды.
- Төзімді және статикалық және соққы жүктемелері үшін беріктігі. Өкінішке орай, экстремалды қаттылық соққы тұтқырлығына шектеу қояды, сондықтан жеткілікті ыстық қаттылық пен жақсартылған соққы тұтқырлығы арасында келісім табу керек (4.13 сурет).
- Жоғары шаршау беріктігі (төзімділік шегі) бірнеше есе жүктемелерге төзімді.
- Механикалық және термиялық уытуға қарсы тұру үшін жоғары тозуға төзімділігі.
- Инерттілік және химиялық төзімділік, яғни дайындамаға металлургиялық ұқсастықтың болмауы.
- Жылу соққысына төзімділік, әсіресе суытқыш сұйықтық кенеттен кесу кезінде қосылады.
- Жоғары термиялық өткізгіштік кесу жиегінен ыстық дирижерлеу үшін тиімді.
- Төмен үйкеліс коэффициенті құралдар / сынықтар интерфейстерінде ең аз тозуға кепілдік беру және тиісінше азайтылған кесу күші мен жойылған күшін жою үшін тиімді.
 - Құралдың төмен құны мен қолжетімділігі
 - Қажетті пішінге оңай қалыптастыру және қайрау



4.13 сурет. Кесу құралы материалдарының беріктігіне қарсы қаттылық.

Әрине, жоғарыда аталған барлық сипаттамаларға ие мінсіз құралдық материал жоқ. Алайда, құралдық материалдардың барынша кең ауқымы қолжетімді, оның ішінде инженер-технолог ең төменгі үлестік шығындарда міндеттерді жақсы орындайтын материалды таңдау керек. 4.4 кесте типтік құралдық материалдардың өнеркәсіптік қолданудағы салыстырмалы құнын қамтамасыз етеді [2]. Кез келген кескіш құралдың маңызды сипаттамасы оның ыстық қаттылығы болып табылады. Жақсы термиялық соққы кедергісі тиісті кесу материалдарының маңызды сипаттамасы. 4.14 сурет ағымдағы пайдаланудағы ең көп таралған құралдық материалдардың ыстық қаттылығын бейнелейді.

4.2.2 Кескіш құрал материалдарының түрлері

Кескіш құралдың материалдары мынадай түрде ыстық қаттылықтың өсуі және соққы тұтқырлығының кему тәртібімен ұсынылған. Олар темір (мысалы, құралдық болат және ВПС) немесе түрлі-түсті (мысалы, құйма түрлі-түсті қорытпалар, карбидтер, металл керамика, керамика және т.б.) болуы мүмкін.). ТКС-механикалық өңдеуге арналған жұмсақ материалдарды қолдануға арналған ең ескі болат құралы; ол сондай-ақ қолмен кескіш өндіруде қолданылады. КҚӨ материалдарын өңдеу кезінде ұсынылмайды

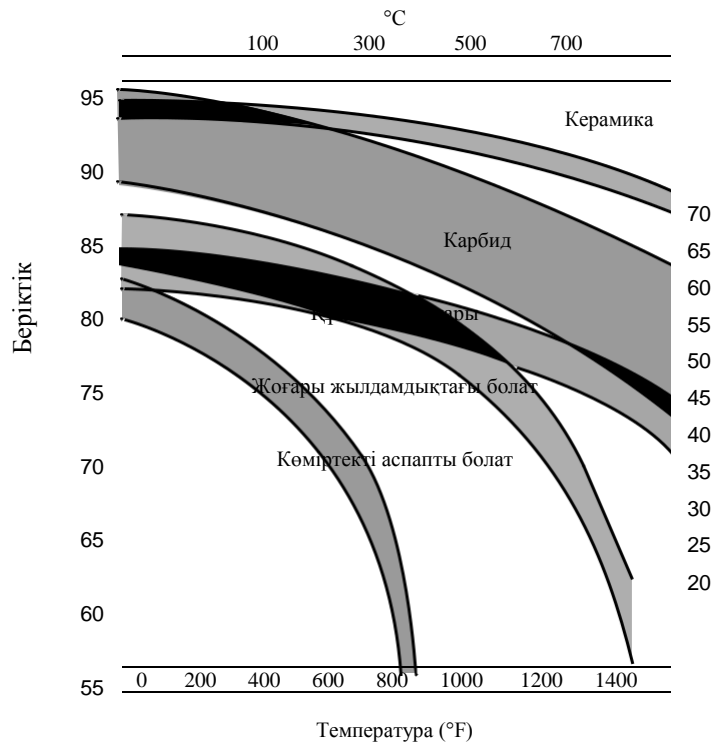
4.2.2.1 Жоғары жылдамдықтағы болат (ЖЖБ)

Қазіргі таңда жоғары жылдамдықтағы болатты (ЖЖБ) қате деген пікірде, өйткені ол қазіргі уақытта өңдеу операцияларының жалпы мақсаттағы құралы болып саналады, кесу жылдамдығы төмен және орташа жүргізіледі. (ЖЖБ) негізінен құрамында карбид түзетін легірлеуші элементтер бар, мысалы, W, Cr және V, 0,7-15% C сияқты. Сондықтан олардың микроқұрылымдары мартенситикалық матрицадан тұрады, оған күрделі карбидтер (Fe_2W_2C , $Cr_{23}C_6$ және VC) және Fe_3C цементит кіреді. Бұл карбидтер орташа ыстықта қаттылыққа және $600^\circ C$ -қа дейінгі жұмыс температурасында кесуге арналған жиектерге көмектеседі, бірақ жоғары температурада тез жұмсарады (Сурет 4.14).

4.4-кесте. Құралдық материалдарға салыстырмалы шығындар Юсеф және басқалар [2]

Құрал материалы	Салыстырмалы құн
Құралдық көміртекті болат (ҚКБ)	1
Тезкескіш болат (ЖЖБ)	1-2
Түсті қорытпаларды құю	2-10

Цементтелген карбидтер	3-10
Алюминий тотығы, металл керамика	20
Жабыны бар карбидтер	10-30
Боразон (БКН), Алмаз	100 және одан көп



4.14 сурет. Жалпы пайдаланудағы кейбір құрал материалдарының ыстық күйдегі беріктігі.

Жылдам кесілетін болат үзік кесу үшін ыстық қаттылық пен беріктіктің арасындағы жақсы тепе-теңдікті қамтамасыз етеді (4.13 сурет). Сонымен қатар, ол ең аз деформация және жарылу қаупімен толық шыныққан болуы мүмкін, ал құралды оның қызмет ету мерзімі ішінде көп рет тез қайрауға болады. ЖЖБ өзінің беріктігіне байланысты әсіресе үлкен оң қозғалыс бұрыштары үшін және қуаты аз және қаттылығы төмен станоктар үшін қолайлы. ЖЖБ -тың негізгі шектеуі салыстырмалы төмен кесу жылдамдығы болып табылады. Жоғары өнімді өңдеу үшін оны карбидтермен және басқа озық құрал материалымен ауыстыру керек [2].

Бірінші және ең көп таралған 18-4-1 ЖЖБ оның легирлеуші элементтерінің W, Cr және V пайызына байланысты белгіленеді. Екінші дүниежүзілік соғыс кезінде вольфрам тапшылығы болған кезде, ол стратегиялық қол жетімді молибденмен ауыстырылды.

Mo аз пайызы (бар болғаны 5%) ыстық қаттылыққа бұйымға қатысты өзін осылай ұстайды [28]. АТБИ коммерциялық ЖЖБ 2 топ, атап айтқанда, Т-топқа (вольфрам ЖЖБ), және М-топқа (молибден ЖЖБ) бөлді. М-топ әдетте термоөңдеу кезінде аз бұрмалауға ұшырайтын Т-топқа қарағанда уатылуға жоғары төзімділікке ие. Қазіргі уақытта М-топ Штаттарда өндірілетін ЖЖБ -лардың көп бөлігін құрайды.

4.5 кестеде көрсетілгендей, ЖЖБ көбісі 1-2% V тұрады. V (Т-15) көп мөлшерін қосу ЖЖБ-ні термиялық өңдеуге қажетті жоғары температурада астықтың өсуін тежейтін күрделі карбидтерді алуға мүмкіндік береді; Т-15 әдетте хромнан құйылған болат сияқты төзімділігі жоғары материалдар үшін қолданылады. Құрамында Co (Т4, Т15, М30, М36 және М42) бар ЖЖБ-нің айқын басымдылығы қалдық аустенит санының азаюы есебінен ыстық қаттылықтың ұлғаю үрдісімен байланысты.

ЖЖБ ұсынуды беттік жабынның түрлі технологияларын пайдалана отырып жақсартуға болады.

Ең тиімді әдістердің бірі-карбидтердің, нитридтердің немесе металл оксидтерінің өте жұқа жабыны (5-7 м) қамтамасыз ететін ПВД болып табылады. ЖЖБ жабыны бар құралдардың құны кәдімгі ЖЖБ-ға қарағанда шамамен екі есе жоғары. TiC, TiN және Al₂O₃ жабынға арналған материал ретінде пайдаланылады. Олардың ішінде көп қатпарлы жабындар да болуы мүмкін. TiC жабындары абразивті тозу кедергісі үшін тиімді. Al₂O₃ жабыны өзінің өте төмен жылу өткізгіштігі себебінен жақсы жылу кедергісі болып табылады. Демек ол жоғары жылдамдықтағы беріліс үшін пайдаланылды. Алтын сары түстес TiN жабыны құрал мен жоңқаның түйіскен жеріндегі адгезияның алдын алудағы тиімділігіне қарай анағұрлым пайдалы болып табылады; бұл тозуды азайтады және құралдың қызмет ету мерзімін айтарлықтай ұлғайтады.

4.5 кесте АТБИ-ге сәйкес кейбір кең қолданылатын ЖЖБ

АТБИ белгіленуі	C	Вт	Құрамы(масса %)		Mo	Co	Ескертулер
			Cr	V			
Т тобы	T1	0,73	18	4	1	—	Тейлор түзуі W класс
	T4	0,75	18	4	1	0,6	W-Co класс
	T15	1,55	12,5	4,5	5	0,6	W-Co-V класс
М тобы	M1	0,80	1,75	3,75	1,15	8,75	Mo ранг түзуі
	M2	0,85	6,25	4	2	5	Mo ранг түзуі
	M7	1,02	1,75	3,75	2	8,75	Mo ранг түзуі
	M10	0,89	0,7	4	2	8	Mo ранг түзуі
	M30	0,80	1,8	4	1,2	8,25	Mo-ko ранг
	M36	0,85	6	4	2	5	8,25 W-Mo-Co класс
	M42	1,08	1,6	3,75	1,15	9,6	8,25 Mo-ko ранг

Сонда да құралдар кесудің төменгі жылдамдықтарында онша жақсы жұмыс істей бермейді, өйткені бұл жабын ажырап кетуі мүмкін. Кесу кезіндегі дұрыс майлау міндетті шарт болып табылады. ЖЖБ жабыны бар құралдардың тозуы әдетте былайша азаяды: құралдың қызмет ету мерзімі әдеттегі ЖЖБ класымен салыстырғанда үш-төрт есе артады.

Қарамен жабылған TiC жабыны бу фазасынан химиялық тұндыру жолымен жоғары температурада жағылады (БФХТ). ЖЖБ ФОПФ -мен және БФХТ-жабынымен жабу жағылғаннан кейін шындалып, босатылуы тиіс. Бұдан басқа, ЖЖБ жабылған құралдарындағы шектеу- қайта қайрауға болмайды.

ЖЖБ жарақтау облысындағы келесі жетістік- ол ұнтақ металлургия әдісімен жасалуы мүмкін (ҰМ). Ірі өлшемді құралдар үшін пайдалы. ҰМ- ЖЖБ құралдары ең жақсы тегістеу, үлкен соққы тұтқырлығы, ең жақсы тозуға төзімді және ыстық күйінде жоғары қаттылықты көрсетеді, сондай-ақ тұрақты жұмыс істейді. Бірақ ҰМ-ЖЖБ кәдімгі ЖЖБ-дан екі есе қымбат.

4.2.2.2 Түрлі-түсті құймалы қорытпалар (Стеллит пен УКОН)

Құрамында тек қоспа түрінде темір бар түсті қорытпаларды, құрал-саймандық материалдарды құю. Олар формада құйылып, содан кейін көлемі бойынша тегістелуі тиіс. Құйма қорытпалар әдетте қарапайым және ірі жабдық үшін қолданылады. Бұл материалдар ЖЖБ және цементтелген карбид құю арасындағы

жылдамдық ауқымында жақсы жұмыс істейді.

Түсті қорытпалар тот баспайтын және ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу үшін қолданылмайды. Оларда екі негізгі санат бар: Негіздегі қорытпалар (стеллиттер) және Сb-негіздеделер (ICON).

1. Кобальт негізінде құйылған қорытпаның саудалық атауы Стеллит, типтік талдануы: 38-52% Co, 30-32% Cr, 10-12% W, 2% C

Оның құрылымы көлемді қатынасы 25-30% болатын күрделі W-Cr карбидтер енгізілген Со-матрицалардан тұрады. Соған қарамастан, оның қаттылығы 58-ден 64 РШҚ-ға дейін барады.

Стеллиттер былай сипатталады:

- Кернеуде әлсіз, нәзік, коррозияға төзімді және ыстыққа жарамайды.
- ЖЖБ сияқты қатты емес, сондықтан олар тек соққы, үзік кесу және діріл болмайтын жұмыс үшін пайдаланылады.
- Жоғары температураларда (750°C дейін) да қаттылығын сақтайды, сондықтан ЖЖБ салыстырғанда салыстырмалы жоғары жылдамдықта (25%) қолданылады.
- Дөңгелек және шаршы қима шыбықтар түрінде немесе жапсырма түрінде, дәнекерленген немесе токарлық құралдар мен фрезалардың корпустарына бекітілген.
- Тоқырау аймағында бейімділіктің аз пайда болуы.
- Сыртқы беттің арнайы сапасы талап етілетін жағдайларды қоспағанда, майлау-суыту сұйықтықтарын талап етпейді.

Стеллиттерді қолдануға стандартты көміртекті болат, шойын (CI) және қатты қола өңдеу жатады. Олар өте жоғары берілістер мен жылдамдықтарда терең және үздіксіз әрекет ету үшін ұсынылған. Стеллиттер жылжымалы және шекті манометрлерді өндіруде пайдаланылуы мүмкін.

2. Сb негізіндегі құйылған қорытпа Колумбия негізіндегі азотталған баяу балқитын қорытпа болып табылады. ЮКОН Union Carbide Company компаниясының сауда маркасы болып табылады. ЮКОН типтік талдауы.

50% Колумбий (Сb), 30% Ti, 20% W, және карбидтерден бос.

Егер құралдың беті азоттауға ұшыраса, ЮКОН қаттылыққа керамикадан 25% артық жетеді және цементтелген карбидтерден 50% артық.

Юкон былайша сипатталады:

- Жоғары қаттылық және ақылға қонымды қаттылық.
- Термальді соққыға ең жоғары қарсылық.
- Диффузия мен сынықты пісіруге ең жоғары қарсылық.
- Цементтелген карбидке қарағанда салыстырмалы түрде қымбат.
- Цементтелген карбидпен салыстырғанда мерзімі 3-тен 5-ке дейін.
- Машинада қиын.
- Лақтыру үстемесі ретінде қолжетімді.

ЮКОН 300-500 м / мин жылдамдықтар аралығында қарапайым болаттарды өңдеу кезінде қолданылады. Үзік қысқартулар үшін ұсынылмайды. Сонымен қатар, ол CI, Ti, Ti қорытпалары, тот баспайтын болат және ыстыққа төзімді қорытпалар сияқты көптеген материалдарды өңдеу үшін жарамсыз [2].

4.2.2.3 Цементтелген карбидтер (Widia)

Цементтелген карбидтер (коммерциялық тұрғыда Еуропада Widia ретінде белгілі, сауда атауы Kgurp) негізінде өте майдаланған карбидтерден (WC + TiC + TaC) тұрады. Бұл карбидтер өте қатты, бірақ кесу кезінде соққы жүктемелерін ұстап тұру үшін жеткілікті түрде берік емес. Сәйкесінше, олар кірпіштер ерітіндімен цементтелгені сияқты Со секілді жұмсақ металмен байланысуы тиіс, олардың

атауы осыдан шыққан. Бұл карбидтерді ұнтақты металлургия әдісімен біріктіру арқылы алады; сәйкесінше олар біріктірілген карбидтер деген атау алды. Металлкерамикалық қатты қорытпалар біріккен матрицаға бекітілген қатты карбидтерден (көлемі бойынша 85-95%) тұрады.

Цементтелген карбидтер екі негізгі топқа бөлінеді: тікелей топ WC + Co және мультикарбидті топ WC + TiC + TaC + Co. Тікелей топтағы бұрынғы құралдар C1-ды, түсті металдарды және бейметалл материалдарды өңдеу кезінде өте тиімді болатын. Алайда олар болаттармен үйлеспеді, себебі кратер құралдың бетінде тез тозады. Мультикарбидті топты алу үшін TiC және TaC қосылған кезде кратердің тозуы айтарлықтай азайғаны анықталды. Мұндай қосу тозуға төзімділікті арттырады, бірақ тұтқырлықты төмендетеді. Сәйкесінше, мультикарбидті топ болат сияқты ұзын жоңқаларды ала отырып қара металдарды кесу үшін өте жақсы келеді.

Цементтелген карбидтерді жіктеудің көптеген жүйелері бар. Алайда СХҰ халықаралық жүйесі қарқынды дамып келе жатқан сияқты, және де енді ол әлемдік стандартқа айналып келеді. СХҰ 513-91 сәйкес, металл кескіш білдектерге арналған қатты қорытпалы пластиналар үш класқа жіктеледі, олар Р, М және К әріптерімен белгіленеді, сәйкесінше әртүрлі түспен кодталған: көк, сары және қызыл. Қаттылық пен беріктікті белгілеу үшін әр класс 01-40 шкаласы бойынша әртүрлі типтерге бөлінеді. 01 және 10 типтері таза өңдеу үшін, ал 30 және 40 типтері бастапқы өңдеу үшін қолданылады.

4.6-кесте физикалық, механикалық және термиялық қасиеттерін, сондай-ақ құрамын және әр маркамен өңделетін типтік материалдарды көрсетеді. Осы кестеге сүйенсек, Р класы болаттарды өңдеуге арналған. К дәрежесі көбінесе WC-тан тұрады, сәйкесінше Р дәрежесіне қарағанда қаттырақ; ол сынған жоңқадан материалдар өңдеуге арналған, бұл кратердің тозуын төмендетуге алып келеді. М маркасы – бұл ұзын да, қысқа да жоңқалар түзетін материалдарды өңдеуге қабілетті аралық марка. Бір түсіру құралымен бірнеше материалды кесу қажет болған кезде қолданылады [1].

Цементтелген карбидтер де Құрама штаттарда қолданылатын С-кодқа сәйкес жіктелген [5]:

- *C1 және C2 сұрыптары (СХҰ К тобы):* Олар қатты және WC + Co-дан тұрады.
- *C3 және C4 маркалары (СХҰ М тобы):* Бұл жалпы мақсатты ранг, араласқан карбидтердің 10%-на дейін құрайды.
- *K5-K8 рангтері (II СХҰ тобы):* Кесудің жоғары жылдамдықтарында беттік кратерге қарсы келуі үшін олардың құрамында 10-нан 60%-ға дейінгі аралықта аралас карбидтер бар. Бұл болаттарды механикалық өңдеуге ұшырату үшін сәйкес келеді.

Температуралардың кең диапазонында (800-1100 ° C) өзінің жоғары қаттылығы, жоғары серпімділік модулі, жоғары жылу өткізгіштігі және төмен жылулық кеңеюі (4.6-кесте) арқасында цементтелген карбидтер механикалық өңдеу операциялары үшін кескіш құралдың ең танымал материалы болып табылады. Олар кесудің жоғары жылдамдықтарында қатты материалдарды механикалық өңдеуге ұшыратуға қабілетті.

4.6 Кесте Цементтелген карбидтерді кескіш құрал

Дәреже белгісі (түсі)	Типі	Динамика ^a	Құрамы (%)			Үлес салмағы (г/см ³)	VN3.0 виккерс (кг/мм ²)	σ_{bend}^b	σ_{comp}^b	E^b	$\mu_{1,\text{exp}}$ (10 ⁻⁶ /°C)	k (кал/см °Cs)	Өңделетін материалдар
			(TiC + TaC)%	Co%	WC%								
P (көк)	P01	1	64	6	30	7.2	1 800	75	—	—	—	—	Ұзын жоңқасы бар қара металдар (болат)
	P10		28	9	63	10.7	1 600	130	490	53 000	6.5	0.07	
	P20		14	10	76	11.9	1 500	150	500	54 000	6.0	0.08	
	P30		8	10	82	13.1	1 450	175	500	55 000	5.5	0.14	
	P40	2	12	13	75	12.7	1 400	190	470	56 000	5.5	0.14	
M (сары)	M10	1	10	6	84	13.1	1 700	135	—	58 000	5.5	0.12	Ұзын немесе қысқа жоңқасы бар қара металдар және түсті металдар (әмбебап маркасы)
	M20		10	8	82	13.4	1 550	160	500	57 000	5.5	0.12	
	M30		10	9	81	14.4	1 450	180	480	—	—	—	
	M40	2	10	15	81	13.6	1 300	210	440	54 000	—	—	
K (қызыл)	K01	1	4	4	92	15.0	1 800	120	—	—	—	—	Қысқа жоңқасы бар қара металдар (C1) түсті металдар және металл емес материалдар
	K10		2	6	92	14.8	1 650	150	570	63 000	5.0	0.19	
	K20		2	6	92	14.8	1 550	170	550	62 000	5.0	0.19	
	K30		1	9	91	14.5	1 400	190	480	58 000	—	0.17	
	K40	2	0	12	92	14.3	1 300	210	450	57 000	5.5	0.16	

Ескертпе: $\mu_{1,\text{exp}}$ = сызықтық кеңейту коэффициенті және k = жылу өткізгіштігі.

^a Динамика: (1) беріктікті, тозу кедергісін және кесу жылдамдығын арттыру және (2) беріктік пен коректендіруді арттыру.

^b σ_{bend} = иілу беріктігі, σ_{comp} = қысу беріктігі, and E = Юнг модулі.

ISO 513-91 [DIN-4990] алынды.

Карбидтерді пайдалану кезіндегі сақтық шаралары

- Білдек еркін тербелістерден де жеткілікті түрде қатты болуы, ал құрал мен дайындама қатты қысылуы тиіс.
- Білдектің қуаты мен жылдамдығы қатты қорытпалы құрал жоғары жылдамдықпен кесе алатындай жеткілікті болуы тиіс.
- Білдекті өшіргеннен кейін құралдың үйкелуіне жол беруге болмайды. Құралды беріліс қосылып тұрған кезде шығарған жөн.
- Пайдалану кезінде суытатын сұйықтық тиімді әрі жеткілікті болуы тиіс.
- Қатты қорытпалы құралдар құрғақтай қайралуы тиіс және оларды қайрап болғаннан кейін шаншып қоюға болмайды.

Цементтелген карбидтер әдетте бірнеше кескіш жиектермен жабдықталған ендірмелер немесе ұштықтар ретінде қолжетімді. Бұл ендірмелер шаршы, үшбұрыш, ромб және шеңбер сияқты пішіндерде қолжетімді. Үшбұрыш немесе алмаз ендірмелерге қарағанда шаршы ендірме берігірек (беріктік көлбеу бұрышқа байланысты), ал дөңгелек ендірме басқа барлық пішіндерге қарағанда берігірек (4.1-сурет). Ендірмелер жону, сүргілеу, кеулей жону және қашау операцияларында әдетте аспаптық болаттан дайындалған құрал ұштықтарында қысып ұсталады.

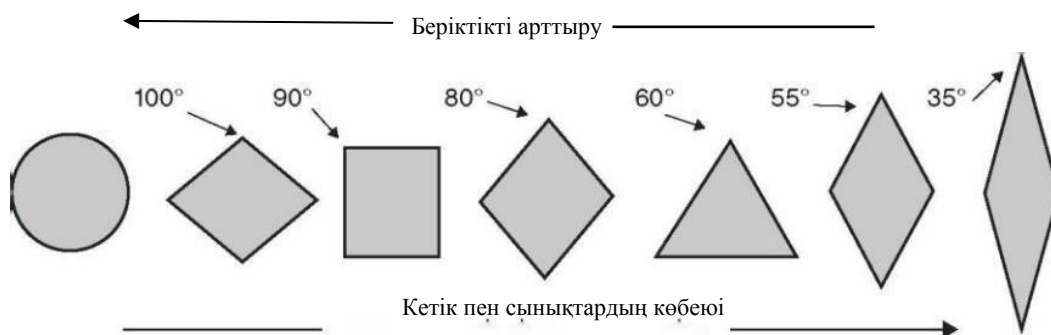
4.16-суретте механикалық бекітілген қатты қорытпалы пластиналармен жабдықталған жонғыштар көрсетілген. Құрал ұштықтарына дәнекерленген ендірмелер сирек қолданылады. Дәнекерленген ендірмелерге қарағанда механикалық қысылған ендірмелерді (бір реттік ұштықтарды) қолдану кезінде айтарлықтай үнемділікке қол жеткізіледі [2].

Қатты қорытпалы ұштықтар оларды механикалық әсерден туындаған кетіктерден қорғау үшін кері тырмаларының жазық өрістеріне ие. Ұштықтар сондай-ақ жоңқаны шиыршықтап, оны құралдан тазартатын жоңқа сындырғыш ретінде қолданылатын кескіш жиектердің жанындағы тырмалар бетінде түзілген арықшалармен қамтылған. Бұл автоматтандырылған өндіріс үшін маңызды.

Жоңқаны тазарту үшін ұзақ уақыт бойы тоқтаусыз кесу қабілеті өңдеу құнына айтарлықтай әсер етеді.

Жабыны бар құралдар

Жабыны бар құралдар материалдарды жою процестерінде қолданылатын құралдардың көпшілігін құрайды, бұл жабынсыз құралдарды пайдалануды жоқ қылады. Жабыны бар кескіш құралдарға кең сұраныс әзірленді. Бұдан бөлек, материалдар және өндіріс бойынша көптеген инженерлер ең төтенше кесу жағдайларында DTC материалының көбісін өңдеуге деген қажеттілікке жауап беретін жабындарды әзірлеуге тырыса отырып, өз білімдерін біріктірді. Жаңа дайындамалардың, құрал және үлдір материалдарының пайда болуы, күрделі жабындардың сипаттамаларын анықтау әдістерінің дамуы және өнімділіктің барынша жоғары көрсеткіштеріне үнемі қажеттілік осы саланың әрі қарай дамуы үшін анық өнеркәсіптік және ғылыми қызығушылықты қолдайды.



4.15 сурет. Карбид ендірмелерінің типтік формалары. (Kennametal компаниясы ұсынған.)



4.16-сурет. Карбидті механикалық қысқыштармен жабдықталған фрезерлік кескіштер. (Krupp, Widia, GmbH, Эссен, Германиядан берілген.)

Жабылған карбидтерде құралдың диффузияға кедергі ретінде әрекет ететін өте қиын реактивті емес беті бар. Бұған карбидті төсемді TiC, TiN, Al₂O₃ немесе HfN сияқты керамикадан жасалған жұқа жабынмен (әдетте 5-7 мкм) жабу арқылы қол жеткізіледі. Кейбір қабаттар бір-бірінің үстіне төселуі мүмкін (TiC базалық қабат болып табылады, одан кейін Al₂O₃ пен TiN кетеді) [29].

Жабындар PVD немесе CVD әдісімен төселуі мүмкін. БФХТ тегіс бетті қамтамасыз ету үшін қатты қорытпалы төсемге төмен температурада салынуы мүмкін, ол үйкелістен жылуды түрлендіреді, кесу күшін азайтуға мүмкіндік береді және пластинада кетіктердің түзілуіне алып келуі мүмкін тоқырау аймағының түзілуіне кедергі келтіреді.

БФХТ-жабындар карбидті төсемге барынша жоғары температурада салынады. Ол берік байланысты қамтамасыз ету үшін жабынның төсеммен өзара диффузиясын қамтамасыз етеді. Ол сондай-ақ құралды пайдалану ауқымын кеңейте отырып кратердің де, фланецтің де тозуын төмендетуі мүмкін көп қабатты жабындар төсеуге мүмкіндік береді. БФХТ қазіргі таңда барынша жоғары кесу жылдамдығына мүмкіндік беретін Al₂O₃-жабынды тиімді қолдана алатын жалғыз жабу процесі. Алайда БФХТ-ға байланысты өте жоғары температураның салдарынан әлсіз q-фаза түзілуі мүмкін және де бұл ажырауға көлденең беріктікті төмендетеді.

Жабын тозғаннан кейін жабылған құралдарды қайта қайрауға болмайды және тозу жылдамдығы жабынсыз құралдардағыдай болады. Жабыны бар карбидтер цементтелген карбидтер нарығының жартысының көбін алды [1].

4.2.2.4 Титанның цементтелген карбидтері (TiC негізіндегі құралдар)

Олар жуырда цементтелген карбидтердің ұзаққа төзімділігін арттыру үшін әзірленді. Байланыстыратын материалы Mo және Ni цементтелген TiC бір реттік ұштықтар түрінде шығарылады. Бұл материалдың Co-цементтелген карбидтерге қарағанда беріктігі аз, бірақ тозуға төзімді. TiC құралдардың дамуы кесу жылдамдығын керамикалық құралдар жылдамдығына жақындатуға

мүмкіндік беретін керемет сұрыптардың пайда болуына алып келді; Бұл сорттар СІ, болат сияқтыларды жартылай нобайлап кесу үшін арналған. Вольфрамның жеткізілуі салыстырмалы түрде жетіспеген жағдайда ТiС карбидтің әдеттегі сұрыптарының орнын басады. Кейбір коммерциялық жеткізушілер ТiС негізіндегі маркаларды өз каталогтарына енгізуде. *Титанның цементтелген карбидтері болат пен тот баспайтын болатты өңдеуде танылды.* Жақын болашақта болатты өңдеудің еңболмағанда жартысы цементтелген ТiС пайдалану арқылы жүзеге асырылатын болады деп саналуда [29].

4.2.2.5 Металлкерамикалар

Бұл Al_2O_3 пен ТiС глинозем оксидтерінің композиттері. Металлкерамика ТiС-ке карағанда баяу балқиды. 20-30% ТiС қосу глиноземнің қаттылығын арттырып, морттылығын азайтады. Сондықтан металлкерamikаның өнімділігі керамика мен карбидтер арасында болады. Карбидтермен салыстырғанда металлкерамика жоғары ыстық қаттылыққа, аз тұтқырлыққа, аз жылу өткізгіштікке және үлкен жылулық кеңеюге ие. Осылайша, термиялық крекинг үзік-үзік ажырау кезінде мәселе болуы мүмкін; сәйкесінше металлкерамика әрлеу операциялары үшін өте жақсы келеді. Беттің металлкерамикамен берілетін жоғары сапасы темірмен химиялық реакцияның төмен деңгейіне байланысты, сәйкесінше кратерлер мен тоқырау аймағы да аз. Металлкерамика болат пен шойынды жоғары жылдамдықта соңғы әрлеу кезінде сәтті қолданылады. Тот баспайтын болаттар, әсіресе мартенситті қорытпаларды металлкерамикамен өңдеуге болады. Бұл құрал материалы көміртек пен полимерлерді өңдеуде қолдану үшін де жарайды [29].

4.2.2.6 Керамика (Глинозем негізіндегі құралдар)

Керамика алюминий үш оксидінің Al_2O_3 ұсақ түйіршікті (<3 μm) таза бөлшектерін білдіреді. Цементтелген карбидтерге келетін болсақ, оларды ұнтақты металлургия әдісімен алюминий оксидінің ұнтағын сығымдап, кейін 1700°C жоғары температурада байланыстырушысыз дәнекерлеу арқылы алады. Глинозем арзан әрі қолжетімді; Алайда өңдеу қымбат, сәйкесінше керамика карбидтермен салыстырғанда арзан емес. Олар кратердің тозуына толық дерлік кедергі келтіреді. Әдетте олар ешқандай суық агентті талап етпейді және егер карбидтерді кесудің екі есе жылдамдығында істелсе дәл сондай құрал қасиетіне ие. Керамика сыйымдылық қасиетін алу үшін құралдың барынша қатты ұстағышын және қатты механикалық құралдарды талап етеді. Олар әсіресе болатқа жоғары жылдамдыққа дейін кесуде инертті. Олар 1200°C-қа дейінгі температураларда өзінің кесу қабілетін сақтайды, бұл жоғары жылдамдықта (600 м/мин дейін) және орынды берілістерде (0,25 мм/айн дейін) болаттарды, жартылай қатты болаттарды және СІ-ды өңдеуге мүмкіндік береді.

Керамика қатты қорытпалы жабдықпен салыстырғанда әмбебап құрал материалы болып табылады, себебі материалдардың (қара және түсті) кең ауқымы керамикалық материалдың бір типімен әртүрлі кесу жылдамдығында өңделуі мүмкін. Алайда керамика АІ-ді, Тi-ді және глиноземмен химиялық әсер ететін басқа да материалдарды өңдеуге жарамайды.

Керамиканың механикалық және термиялық соққыларға төзімділігі төмен болғандықтан, үзік-үзік кесуді және майлау-суыту сұйықтықтарын пайдалану құралдың уақытынан бұрын істен шығуына алып келуі мүмкін. Керамикалық құралға тиген кезде қатты соққы болдырмау үшін керамикамен бұрудан бұрын дайындаманың жиегін қатты қорытпалы немесе ЖЖБ-құралмен жұмырлау керек.

Бейметалл бола отырып керамиканың кесу кезінде металға жабысу ықтималдығы аз; сәйкесінше тоқырау аймағы болуы мүмкін емес және сәйкесінше бет сапасының жоғары болуы күтіледі. Үйкеліс коэффициенті төмен болуының арқасында құралдың шет жағында жоңқаның өте жақсы ағыны қамтамасыз етіледі, бұл керамикалық құралдарды пайдалану кезінде кесу күшінің және өңдеу қуатының төмендеуіне алып келеді. Айта кету керек, құрал/жоңқа интерфейсінің температурасы жоғары, себебі керамикалық құралдар жылуды нашар өткізгіштер болып табылады [2].

Керамика сенімділігін арттыру бағытында үлкен табыстарға қол жеткізілді. SiC-пен 25-40%-ға күшейтілген Al_2O_3 -тен жасалған құралдар және кремний нитридінен (Si_3N_4) және Si-Al-O-N керамикадан жасалған құралдар қаттырақ және тозуға төзімдірек болып табылады және үзік-үзік кесу үшін қолданылуы мүмкін. Олар ыстыққа төзімді қорытпаларды және сұр Cl-ды кесу кезінде қолданылады [29].

Тәжірибе көрсеткендей, қатты қорытпалы құралдардың орнына керамикалық құралдарды дұрыс пайдаланған жағдайда, өңдеу уақыты болатты өңдеу кезінде жартысына дейін үштен бір бөлікке және шойынды өңдеу кезінде үштен екіге қысқаруы мүмкін. Өкінішке орай, керамика басқа дәнекерленген ендірмелерге қарағанда сынғыш. Осы себептен олардың қолданылуы әлі де металл өңдеумен ғана шектелген. Қазіргі таңда қолданылатын барлық дәнекерленген материалдардың ішінен 2-3%-ға жуығын ғана керамика, 60-70%-ға жуығы цементтелген карбидтер мен керметтерді, 25%-ы жабыны бар карбидтерді және 5%-ы титан карбидтерін құрайды [30].

4.2.2.7 Сиалон

Сиалон қоспалардың Al және O материалдары негізіндегі кремний нитридін Si_3N_4 білдіреді. Оны Si_3N_4 -ті, алюминий нитридін, глиноземді Al_2O_3 және иттрийді ұсақтау арқылы алады. Қоспаны кептіреді, пішінге ие болғанға дейін сығымдайды және $1800^\circ C$ -қа дейін біріктіреді. Ол цементтелген карбид сияқты қатты емес; алайда глиноземнен әлдеқайда берік және сондықтан да үзік-үзік кесу үшін жарайды. Сиалон ыстыққа жоғары төзімділікке және жылулық кеңеюдің төмен коэффициентіне ие, осылайша ол глиноземге қарағанда жылумен соққыға кедергіні қамтамасыз етеді. Сиалон көбінесе 200-300 м/мин кесу жылдамдығымен әуе-ғарыштық қорытпаларды және Ni негізіндегі газ турбинысы дискілерін өңдеу үшін қолданылады. Ол кері тырмалардың ендірмелері ретінде қолжетімді және құралды күшейту үшін кескіш жиегінде қиық жиекпен қамтамасыз етілген. Біліктің қаттылығының артуы Сиалон ұштықтарынан тиімді пайдалануға мүмкіндік береді [2].

4.2.2.8 Бордың кубтық нитриді (БКН)

БКН қара металдар мен Ni-қорытпаларды өңдеу кезінде алмаздың тұрақсыздық мәселесін шешу үшін әзірленді. Ол алмаз сияқты қатты болмағанымен, әлі де бүгінгі таңда әзірленген басқа кез келген материалдан қатты. БКН-нің екі негізгі коммерциялық қолжетімді өнімі - бұл General Electric Motors-тың (GEM) BZN-ы және De Beers-тің Amborite-ті. BZN WC-төсемдегі бордың поликристалды кубтық нитридінен (БПККН) жасалған қалыңдығы шамамен 0,5 мм ламинатталған құрал ұштықтары түрінде өндіріледі. Субстрат соққыға қарсылық келтіруді қамтамасыз етеді, ал БПККН қабаты өте жоғары кедергіні және тозуға беріктікті қамтамасыз етеді. Амборит толық шоғырландырылған БПККН-нан тұратын ұштық түрінде өндіріледі [2].

БПККН-ның ұзақ уақыт бойы $1000^\circ C$ жоғары температурада ең жоғары химиялық төзімділігі жоғары кесу жылдамдықтарында болаттарды, Cl мен Ni қорытпаларын өндіруге мүмкіндік береді. БПККН-нің ең үлкен мүмкіндігі 60 м/мин кесу жылдамдығында және 0,2-0,4 мм/айн берілісте шынықтырылған болатты, ЖЖБ-ны, суытылған Cl-ды өңдеу кезінде байқалады. Құрал геометриясы дұрыс және тырмасы теріс. БПККН шынықтырылған болатта үзік-үзік кесу үшін қолданылуы мүмкін. БПККН-нің егелген шеңберлері карбидті, ЖЖБ-ны, стеллиттерді және т.б. егеу үшін қолданылады.

БПККН қымбат тұрады және бағасы шамамен синтетикалық алмаздың бағасымен бірдей. Материалды жою жылдамдығы қатты қорытпалы құралдарға қарағанда бірнеше есе көп. Ол кескіш пластиналар түрінде қолжетімді [2].

4.2.2.9 Алмаз

Табиғи алмаз – адамзатқа белгілі ең қатты материал. Өкінішке орай, құрал материалы ретінде ол тым нәзік және кесу күшінің аз ғана әсері немесе тербелісі оның бүлінуіне алып келеді.

Сондықтан оны пайдалану қатаң түрде шектелген және кесудің жоғары жылдамдығымен және Al, Al-қорытпа, қола және пластмасса сияқты жұмсақ материалдарды үздіксіз кесумен шектелген. Ол диамант пен осы материалдар арасындағы қолайсыз химиялық реакциялар салдарынан кесілген темір металдарға және Ni-қорытпаларға қолдануға жарамайды. Алмаз түсті металдарды бұрғылау үшін БФХТ әдісімен шиыршықты бұрғыға қалыңдығы 50 мм қабатпен жұқа жабын түрінде түсірілуі мүмкін [29].

Жуырда жасалған әзірлеме (1979ж.) ЖКА-ны енгізуге алып келді. Оның басты артықшылығы құрылым бойымен жарықшақтың таралуын болдырмайтын алмаз кристалдарының кездейсоқ бағытына байланысты, бұл оны үзік-үзік кесу үшін жарамды етеді. ЖКА құралдарына арналған ұштықтар соғылған ендірмелер түрінде немесе қатты қорытпалы төсемде соғылған қалыңдығы 0,5 мм қабаттар түрінде шығарылады, бұл құралға қолданылатын соққы жүктемелері үшін қажетті соққы тұтқырлығын қамтамасыз етеді. Композитті ұштық құрал ұштығында дәнекерлеу арқылы бекітілуі, сосын қайралуы, сүртілуі, жылтыратып өңделуі және тозған жағдайда қайралуы мүмкін. Бұны қайрау басқа құралдарға қарағанда ұзақ уақыт алады. Ол қымбат, әдетте соған баламалы қатты қорытпалы құралдан 20-30 есе қымбат болып келеді [2].

ЖКА Al-Si гиперэвтектикалық қорытпалар сияқты жоғары абразивті дайындамадағы басқа материалдардан асып түседі. Олар Al мен Al-қорытпаларды, Cu мен Cu-қорытпаларды (мысалы, Cu-коммутатор) және т.б. өңдеу үшін де ұсынылады. Олар бұранданы жонғылау және кесу сияқты үзік-үзік кесу операциялы үшін қолданылады. Алайда жоғары температураларда ол темір мен никельді диффузиялайтын графитке айналады; сондықтан ол болаттарды, тот баспайтын болаттарды, шойынды және ыстыққа төзімді қорытпаларды кесуге жарамайды[2,29]. Сонымен, 4.7-кестеде бұрын осы бөлімде қаралған кескіш құрал материалдарының физикалық-механикалық қасиеттері келтірілген [30].

4.2.3 Тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеуге арналған құрал материалдары

Авиациялық қозғалтқыш компоненттері өндірісінде қолданылатын материалдарға әдетте никель мен титан негізіндегі қорытпалар, сондай-ақ тот баспайтын болаттар кіреді. Бұл КҚӨ материалдар механикалық өңдеу кезінде ыстыққа беріктік, қаттылық, және химиялық тозуға төзімділік сияқты қасиеттердің бірегей үйлесімі себебінен кескіш құрал материалдары үшін күрделі мәселелер тудырады. Бұл қорытпалардың төмен жылу өткізгіштігі құрал мен дайындама арасындағы бөлік бетінде жоғары температуралардың шоғырлануына, сондай-ақ құралдың тез тозуына және өндірістік шығындардың көбеюіне алып келеді. Цементтелген карбидтер (жабылған карбидтерді қоса алғанда), керамика, жартылай кристалды алмаз және БПККН сияқты қаттылығы жоғары құрал материалдары авиациялық қорытпалардың ӨЖЖ үшін өте жиі қолданылады. Бұл әзірлемелер өңделетін беттердің тұтастығы үшін авиациялық қорытпаларды өңдеудің айтарлықтай жақсаруына алып келді [31].

Құрал материалдарының тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды үнемді өңдеу үшін ұсынылатын түрлері келесі бөлімдерде қарастырылады.

4.7-кесте Әртүрлі аспаптық құрал материалдардың физикалық-механикалық қасиеттері

Аспаптық материалдардың физика-механикалық қасиеттері	Құрал материалдарының (мас.%)				
	Карбид (К10) 94%WC + 6% Co	Al ₂ O ₃ 90–95% + 5–10% ZrO ₂	Вискер- күшейтілген глинозем 75% Al ₂ O ₃ + 25% SiC	Сиалон 77% Si ₃ N ₄ + 12% Al ₂ O ₃ + 1% Y ₂ O ₃	БКН 50–90% + 50 to 10% (TiN-TiC)
Бөлшек өлшемі (мкм)	1–2	1–2	—	1	1–3
Тығыздық (г см ⁻³)	14.8	3.9–4.0	3.7	3.2	3.1
20°C кезіндегі қаттылық (HV)	1700	1700	2000	1600	3000–4500
1000°C кезіндегі қаттылық (HV)	400	650	—	900	1800
Бұзылу кезіндегі тұтқырлық (м Нм-3/2)	10	1.9	8	6	10
Юнг модулі (кн мм ⁻²)	630	380	390	300	680
Жылу өткізгіштігі (Wm ⁻¹ °C)	100	8–10	32	23	100
Жылу кеңею коэффициенті (×10 ⁻⁶ °C)	5–6	8.5	—	3.2	5

Бхаттачариа және басқадан алынды [30].

4.2.3.1 Тот баспайтын болаттарға арналған кескіш құрал материалдары

Механикалық өңдеуге ұшыратуға арналған кескіш құралдың ең кеңінен қолданылатын материалдары СҚ, ЖЖБ (жағылған немесе соғылған) және цементтелген карбидтер.

1. Тезкескіш болат

Вольфрам немесе молибденді ТКС қолданылуы мүмкін (4.5-кесте). ЖЖБ әсіресе беру жоғары және кесу жылдамдығы төмен болған кезде механикалық өңдеуде пайдалы. Вольфрамның типтері (мысалы, Т-15) даққа және ыстық қаттылыққа кедергі келтіру үшін пайдалы. ЖЖБ молибдені кеңінен қолданылады. М-42 жұқарту үшін қолдануда, ең төмен кесу жылдамдығында қаттылық пен беріктік керек қолданыстарда пайдалы. Ол одан кең таралған М-2 сұрпына қарағанда өте жақсы қаттылыққа ие, бірақ дегенмен сондай берік болмауы мүмкін. Егер құралдар кетіктердің түзілуіне ұшыраса, М-2 және М-10 сияқты қаттырақ сұрыптары қолданылуы мүмкін. Егер құралдар тозуға бейім болса, тозуға төзімдірек сұрып Т-15 дұрыс таңдау болуы тиіс.

2. Цементтелген карбидтер

Олар СҚ-ны өңдеу үшін қолданылады, мұнда әдетте өте жоғары жылдамдық және өте жоғары беріліс қолданылады. Вольфрам карбидтерінің тікелей маркалары аустенитті және дуплексті СҚ-ны өңдеу үшін, ал кешенділер мартенситті және ферритті маркаларды өңдеу үшін қолданылады [32].

4.8-кестеде ұсынылатын ЖЖБ және тот баспайтын болаттарды өңдеуге арналған жылтыратылған қатты қорытпалы құралдар келтірілген.

Жабыны бар карбидтер

Олар да тот баспайтын болаттарды өңдеу кезінде қолданылуы мүмкін. Сынақтар коммерциялық кескішұстағышта орнатылған жаңа құрал ендірмелерімен жүргізіледі. Олар сонымен бірге тот баспайтын болаттарды өңдеу кезінде қолданылуы мүмкін. Сумитомо Электрикпен жеткізілетін С2 (К40) маркалы, PVD-кезектесіп келетін AlN қабаттарымен жабылған ендірмелер және әрқайсысының қалыңдығы 1,25 м қалайы зерттелді [33]. Al / TiN аса торлы үлдірінің қаттылығы 3900 HV. Дәлдігі жоғары жону білдегінде ATAVAX-ты төмен кесу жылдамдығында (44 м/мин), кесу тереңдігінде (3 және 20 ПМ) және беру жылдамдығында (5 ПМ) өңдеу кезінде БФФТ-жабынды және жабынсыз қатты қорытпалы құралдардың, сондай-ақ дәл дәнекерленген БПККН-нің тозуы зерттелді. STAVAX арнайы мартенситті СҚ-қорытпа (S42000, қаттылығы 44 СПЧ) болып табылады. Жабыны бар қатты қорытпалы құралмен өңделген профиль табиғи маймен бірге БПККН әлдеқайда қымбат құралмен салыстырғанда өте дәл пішінге және бет тазалығына ие [33].

ISCAR кескіш құралдарға өз Al_2O_3 TiAlN енгізді, БФФТ СҚ барлық типтерін, әсіресе аустенитті СҚ-ны өңдеу үшін төрткілдеші оң субмикронды карбидті төсемді жапты, он өңдеу материалдың деформациялық беріктенуіне, нашар жылу өткізгіштікке, серпімділікке және тоқырау аймағы түзілу үрдісіне ие [34]. ISCAR өңдеу өнімділігін жақсартатын, құралының қызмет ету мерзімі жақсы, жоңқа тиімді түзілетін және бет сапасы жақсы IC907 жаңа маркаларын ұсынды.

Жоғары кесу жылдамдықтарында және жоғары жылу жүктемелерінде аустенитті СҚ-ны (немесе ыстыққа төзімді қорытпаларды) өңдеу кезінде үздік нәтижелер алынды. Бұл TiAl бастапқы жабынының кескіш жиегіндегі Al_2O_3 қабатының төмен жылу өткізгіштігіне байланысты. Бұл қабат ендірмені жылу өткізгіштіктен оқшаулаудан бөлек, үйкелістің азаюына қамтамасыз етеді, осы арқылы ол ендірмені тозудан және пластикалық деформациядан қорғайды. Бұл субмикронды төсемдегі қос БФФТ-жабынның озық технологиясының жаңа үйлесімі шеттері оң, кескіш жиектері өткір жабынды пластиналарды дайындауға мүмкіндік береді [34].

4.2.3.2 Ыстыққа төзімді қорытпаларға арналған құрал материалдары

Ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеуге арналған кескіш құрал материалдары келесі өңдеу операцияларында қарастырылады.

Айналу

Қатты қорытпалы құралдар көбінесе ыстыққа төзімді қорытпаларды жонып өңдеу кезінде қолданылады, дегенмен қатты қорытпалы, керамикалық, БКН және тіпті ЖЖБ-құралдар да қолданылады. Бастапқы өңдеу үшін көбінесе құрамында 94% WC және 6% Co бар С2 карбидтерді таңдайды, ал таза өңдеу үшін С3 карбидтерді қолданады. Қатты қорытпалы құралдар өте жоғары кесу жылдамдығын қамтамасыз етеді және үзік-үзік кесіп жасалатын жону жұмыстары үшін ұсынылады. Оң және теріс тырмалары бар қатты қорытпалы пластиналар ыстыққа төзімді қорытпаларды бастапқы және таза өңдеуге арналған. Оң тырмалық ендірмеге қарағанда стандарты теріс тырмалы ендірмемен кесу күші көбірек. Қатты қорытпалы пластиналарды пайдалану кезінде ұштық температурасын барынша азайту үшін және құралдың қызмет мерзімін көбейту үшін бірқалыпты кесу жылдамдығын қолданған жөн [16].

Жабылған карбидтер Fe-Ni негізіндегі қорытпаларды кесу кезінде металды жою жылдамдығының (МЖЖ) сәл арттырады. Әдеттегідей, металды алу жылдамдығы тек шамамен 25%-ға артуы мүмкін, ал құралған кететін барынша көп шығындар олардың қолданылуын шектейді. Жабылған карбидті құралдар Ni негізіндегі ыстыққа төзімді қорытпалардың М-ы айтарлықтай артуында әлі өз тиімділігін дәлелдеген жоқ. Төсемнің қолданылатын жабын материалына қарамастан айтарлықтай жоғары температурада деформацияланбауға қабілетті [16].

4.8 Ұсынылатын ЖЖБ және өңдеу операцияларын қолдана отырып тот баспайтын болаттарды өндіруге арналған қатты қорытпалы құралдар

Механикалық өңдеу	Тот баспайтын болат тобы	Тот баспайтын болат	
		Еркін өңдеу	Еріксіз өңдеу
1. Жонып өңдеу (карбидтер ғана ұсынылады)	Ферритті	C6/C7	C2/C3/C6/C7
	Мартенситті		
	Аустенитті	C2/C3	C2/C3
	Дуплекс	Н. А.	
	РН-қорытпалар		
2. Кесу және жонып өңдеу (ЖКБ пен карбид қолданылады)	Ферритті	M2 / M3-C6	M2 / M3-C6
	Мартенситті		
	Аустенитті	M2 / M3-C2 / C6	M2 / M3/M42 / T15-C2
	Дуплекс	N.A	M2 / M3-C2
	РН-қорытпалар		M42/T15-C2
3. Бұрғылау (ЖЖБ жиі қолданылған)	Ферритті	M1/M7 / M10	M1/M7 / M10
	Мартенситті		
	Аустенитті		M1/M7 / M10 / M42 / T15
	Дуплекс	N.A	M1/M7 / M10
	РН-қорытпалар		M42/T15
4. Бұранды ою және ойма тілу (ЖЖБ қана қолданылады)	Ферритті	M1/M7 / M10	M1/M7 / M10
	Мартенситті		
	Аустенитті		
	Дуплекс	Н. А.	
	РН-қорытпалар		
5. Жонғылау қолданылады (ЖЖБ және қатты қорытпалы)	Ферритті	M2/M7-C6	M2/M7-C6
	Мартенситті		
	Аустенитті	M2/M7-C2	M2/M7-C2
	Дуплекс	Н. А.	
	РН-қорытпалар		
6. Тарту (көбінесе ЖЖБ қолданылады)	Ферритті	M2/M7	M2/M7
	Мартенситті		
	Аустенитті		M2/M7/M42/T15
	Дуплекс	Н. А.	M42/T15
	РН-қорытпалар		
7. Қашау (ЖЖБ және карбид қолданылады)	Ферритті	M7-C2	M7-C2
	Мартенситті		
	Аустенитті		M7 / M42/T15-C2
	Дуплекс	Н. А.	M42/T15-C2
	РН-қорытпалар		

УСЗ: M1/M2/M7/M10/M42 / T15, карбидтер: C2/C3/C6 /

C7. РН, тұнбалардың қатаюы.

Дегенмен, тырмалары оң БФФТ-жабынды қатты қорытпалы құралдар бөлшектің иілуін азайту және кесу күшін және температураны азайту үшін таза өңдеуге және ыстыққа төзімді -таза өңдеуге жарайды.

Үзік-үзік кесуді қоспағанда, тезкескіш болаттан жасалған құралдар ыстыққа төзімді қорытпаларды қайрау кезінде сирек қолданылады. Мұндай жағдайларда карбид құралдарына қарағанда ЖЖБ құралдар соққыға үлкен кедергісінің арқасында бейімдірек. Т15, Т36 немесе М42 сияқты жоғары қоспаланған маркалар жоғары құнына қарамастан М2 немесе Т1 сияқты жалпы тағайындалымдағы маркаларға қарағанда жақсырақ.

Керамикалық құралдар мұқият пайдаланылған жағдайда 150-ден 1200 м/мин-ге дейінгі аралықта жоғары кесу жылдамдығымен, бірақ 80% карбидтер бере отырып өнімділігін арттыруы мүмкін. Керамикамен суытудың қажеті жоқ.

Керамиканың бұзылу тұтқырлығы салыстырмалы төмен болуы, сондай-ақыстыққа төзімді қорытпалардың жоғары температуралы төзімділігі себебінен керамикалы ыстыққа төзімді қорытпаларды кесу кезінде кесу тереңдігі барынша көрінеді (карбидтермен салыстырғанда). Болатпен немесе негіздегі қорытпалармен химиялық реакцияға түскен Al_2O_3 -TiC керамикаға қарағанда қатты керамиканың (Сиалон және SiC-вискермен күшейтілген Al_2O_3) кесу тереңдігі аз. Сәйкесінше, Сиалон және SiC жіп тәрізді кристалдармен күшейтілген Al_2O_3 Ni негізіндегі деформацияланатын қорытпаларды өңдеу кезінде тиімдірек. Ni негізіндегі құйылған қорытпалар түйіршікті құрылымының арқасында тіпті ең берік керамиканың өзін сындырады.

Кесу тереңдігі ендіріменің нәзік геометриясын (үшбұрыш және ромб тәрізді пішін) пайдалануды жоққа шығарады. Мүмкіндігінше дөңгелек ендірімелерді пайдаланған жөн. Олар табиғатында ең күштілері; бірақ кесу тереңдігі ұштың дөңгелектену радиусының үштен екісінен аспаған кезде басқа пішіндер де қолданылуы мүмкін [16].

Қақтану және соғу болған кезде Ni негізіндегі деформацияланатын қорытпалардың бастапқы тіліктерін кесу жылдамдығы шамамен 150 м/мин, барынша қатты сиалон керамикасымен өндеген жөн. SiC вискерлерімен күшейтілген Al_2O_3 керамиканы бұрын пайдалану тәжірибесі көрсеткендей, тұтқырлық жоғарылады, бірақ кесуде күрделі мәселе тудырды. Осы екі керамика да Al_2O_3 -TiC керамикаға қарағанда жылулық соққыға барынша жоғары төзімділігімен сипатталады. Жартылай фабрикатты және таза жону операциялары аз соққы тұтқырлығы көтере алады және Al_2O_3 -TiC керамикамен орындалуы мүмкін.

БКН-құралдар Ni негізіндегі (соғылған және құйылған) және Co негізіндегі қатты қорытпаларды жонып өндеуде қолданылады. Ыстыққа төзімді қорытпаларды жонып өндеу кезінде құралдың қызмет ету мерзімін едәуір көбейту үшін құралды ұстап тұруға арналған жарақтарға көп назар аудару қажет [16]. БКН жылтыратылмаған үшкір шеті бетті әрлеуді және шектерді жақсарту үшін, ал жылтыратылған сұрыптар құралдың төзімділігін және өнімділігін арттыру үшін қолданылады.

Қашап тегістеу және тесу

Ыстыққа төзімді қорытпаларды жонып өндеу үшін қолданылатын әдістерге ұқсас әдістермен бұрғылайды; дегенмен жылдамдық және беріліс азайтылуы тиіс, себебі мұндай суыту және майлау тиімділігі бұру кезінде жүзеге асуы мүмкін емес. Бұдан бөлек, қашап тегістелген құралды бұру кезіндегідей қатты ұстауға болмайды. Олай істемеген жағдайда құрал материалдарын таңдау және пайдалану қайрауға ұқсас болады, бірақ құрал геометриясы өзгереді. Қашау құралдарының шетжақ бедерінің бұрышы қашап тегістеу диаметріне пропорционал кері өзгеруі тиіс [16].

Тесу ыстыққа төзімді қорытпаларды өндеу кезінде кеңінен қолданылмайды, дегенмен Fe-Ni негізіндегі қорытпалар кейбір қолданыстарда трепанацияланды. Тәжірибе жылдамдықтың, берілістің және қашауға жарамды құрал материалдарының ұқсас жұмыс жағдайларында тесу үшін қанағаттанарлық екенін көрсетті. Кейбір қорытпалар 12-15 м/мин кесу жылдамдығында және 0,13 мм/айн. берілісте М2 мен Т5-тен жасалған ЖЖБ құралдардың көмегімен құйылған күйде (160-210 БК) сәтті тесілді.

Сүргілеу және қалыптау

Сүргілеу әдетте ыстыққа төзімді қорытпалардан жасалған үлкен құймаларда орындалады, бірақ соғылған бұйымдарда сирек орындалады. Бастапқы өндеудегі номиналды жылдамдық тезкескіш болаттан жасалған құрал үшін 6-9 м/мин, және қатты қорытпалы құрал үшін 40-55 м/мин. Таза

өндеудегі номиналды жылдамдық тезкескіш болаттан жасалған құрал үшін 8-14 м/мин, ал қатты қорытпалы құрал үшін 45-60 м/мин. Сүргілеу әдетте құрғақ орындалады, бірақ кейде синтетикалық эмульсиялар қолданылады.

Құралдарды 0°-3° тырма артында 8° бүйір түсірумен, 4 түсіру бұрышымен 6°, мм пластина биіктігінде 1-1.5 радиуспен сүргілеу ыстыққа төзімді қорытпалардың барлық түрі үшін жарайды. Тезкескіш болаттан жасалған құралдарды пайдалану кезінде жедел жады жылдамдығы баяу болуы тиіс, бастапқы өңдеу үшін 0,5-0,75 мм/жүрісті каналды және әрлеу үшін 0,25-0,4 мм/жүріс каналды пайдалана отырып, 2,4 м/мин оңтайлы жылдамдық болып табылады. Бастапқы өңдеу үшін кесу тереңдігі 1,2-2,5 мм, және таза өңдеу үшін – 0,4-0,75 мм. Қалып түзу кезінде майлау-суыту сұйықтық ретінде түйіршіксіз хлорланған майды қолданған жөн [16].

Тарту

ЖЖБ әдетте ыстыққа төзімді қорытпаларды тарту үшін қолданылады. Т4, Т5 және Т6 сияқты жоғары қоспаланған сұрыптар тозу және қызмет ету мерзімі тұрғысынан қарағанда тартудан асып кетеді. Дегенмен тиімді нәтижелер Fe-Ni (А-286) негізіндегі қорытпаларды қамтитын кейбір қолданыстар үшін М2-тарту арқылы жүзеге асуы мүмкін, М3-тарту әдетте ыстыққа төзімді қорытпаларды тарту үшін ең жақсы келеді деп саналады [16].

Бұрғылау және бірлескен операциялар

ЖЖБ бұрғылайтын бұрғылар ыстыққа төзімді қорытпаларды бұрғылау кезінде қолданылады, дегенмен қатты қорытпалы бұрғылар көбінесе авиациялық өнеркәсіпте қолданылады. Т15, М33 немесе М36 сияқты маркалар ыстыққа төзімді қорытпалардың көптеген типтерін бұрғылау үшін тиімді болып табылады және оларды пайдалану көбінесе тиімді қызмет ету мерзіміне қол жеткізу үшін міндетті болып табылады. Жоғары қоспаланған ЖЖБ-дан дайындалған бұрғылардың жоғары құнына (әдетте олардың жалпы тағайындалымдағы құнынан төрт есе жоғары) және қайта қашаудың жоғары құнына құралдың қызмет ету мерзімінің артуымен кепілдік беріледі. Азотталу сияқты әртүрлі беттік жабындар құрал төзімділігін арттыру үшін тезкескіш болаттан жасалған бұрғылар үшін қолданылуы мүмкін.

Ұңғылау үшін қашау сағағының ұсталып тұратын ұзындығы ең азына келтірілуі тиіс. Қатты қорытпалы қашауларды қолданған жөн, дегенмен ЖЖБ-қашаулар да деформацияланатын қорытпаларды және Fe-Ni негізіндегі құйылған қорытпаларды өңдеу үшін қолданылады. Механикалық балқытылған (МБ) бұйымдарды ұңғылау кезінде қатты қорытпалы ұштығы бар қашауларды қолданған жөн.

Ыстыққа төзімді қорытпаларды ұңғылау кезінде әдетте алты немесе сегіз жырашығы бар қашауларды қолданған жөн, алайда кішкене тесіктер үшін (диаметрі 6 мм-ден аз) төрт жырашықты қашаулар да қолданылады. Қашаудың оңтайлы бұрыштары ұңғыланатын ыстыққа төзімді қорытпаларға, тесік өлшеміне және жырашықтар санына қарай кішкене ерекшеленуі мүмкін. Ыстыққа төзімді қорытпалардың барлық түрін өңдеу және нүктелік қаптау үшін қолданылатын құралдардың басқа металдардағы ұқсас операциялар үшін қолданылатын құралдардан ерекшеленуі міндетті емес. Алайда машина мен қондырғының қаттылығына баса назар аудару керек [30].

Бұранданы ою операциялары

Өндірістің шағын көлемінде бұранданы ою (ойма тілу) операциялары үшін жалпы тағайындалымдағы ЖЖБ-дан (М1 сияқты) дайындалған бұрмалар ыстыққа төзімді қорытпаларда қанағаттанарлықтай жұмыс істейді, бірақ бұрмаларды сұйық азоттаумен беттік өңдеу ұсынылады. Егер көп мөлшерді шығару қажет болса, әдетте жоғары қоспаланған ЖЖБ-дан (М4, М36, Т15 сияқты) дайындалған бұранойғыштардың жоғары құны талап етіледі. Ұсынылатын жылдамдықтар 2 м/мин-тан (Ni мен Co негізіндегі қорытпалар үшін) 5 м/мин-қа (Fe-Ni негізіндегі қорытпалар үшін) дейінгі аралықта болады.

Жону және арамен кесу

Жону (және арамен кесу) кезінде үзік-үзік кесу әсеріне байланысты, ыстыққа төзімді қорытпаларды жону кезінде ЖЖБ қолданылады. Алайда Rene 41 және MA 600 сияқты КҚӨ қорытпалардың көп мөлшерін жону кезінде карбидтер ЖЖБ-ға қарағанда үнемдірек болуы мүмкін. Шағын тұтас қатты қорытпалы шеткі жонғыштар кейбір қосымшаларда қолданылады. Барынша жоғары қоспаланған ЖЖБ маркалары әмбебап маркаларға қарағанда жақсы жұмыс істейді [32].

4.3 Тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларға арналған майлау-суыту сұйықтықтары

4.3.1 Функциялары, сипаттамалары және жалпы түсініктер

Майлау-суыту сұйықтықтарын пайдалану сапа мен өнімділіктің артуына байланысты пайда түрінде экономикалық тұрғыдан ақталуы тиіс. Кесуге арналған сұйықтықтар әдетте өңдеу операцияларында, бастысы құрал қызметінің мерзімін көбейту үшін кесу аймақтарын суытуда, сондай-ақ беттің дәлдігі мен тазалығын жоғарылату үшін қолданылады;

1. құралдың қызмет ету мерзімін арттыру үшін, сондай-ақ беттің дәлдігі мен тазалығын жоғарылату үшін;
2. үйкелісті азайту үшін, сәйкесінше құралдың тозуын, кесу күшін және тұтынылатын қуатты азайту үшін құралдың бүйір бетіндегі және шет жағындағы байланыс аймағын майлаңыз;
3. жонқа мен үгіндіні жуып тастаңыз;
4. машинаны жемірілуден қорғау;
5. құралда ТА (тоқырау аймағы) түзілуін қадағалау.

Май немесе суытатын сұйықтық болып табылатын майлау-суыту сұйықтықтың әсері көбінесе температураға, сәйкесінше кесу операциясының типіне және кесу жылдамдығына байланысты. Майлау-суыту сұйықтықтарын көп қып жағу керек. Майлаушы әсері төмен және өте төмен жылдамдықтарда ғана, ал суытатын әсер орташа және жоғары жылдамдықтарда нәтиже береді [1]. Тиісті майлау-суыту сұйықтығы төмендегілермен сипатталуы тиіс:

- қатты ыстыққа абсорбциялық қабілеті;
- майдың жоғары сапасы ;
- жоғары ыстық нүкте;
- жоғары химиялық төзімділік;
- ыстық бетпен байланысу кезінде күйік исі болмауы;
- биологиялық және экологиялық қаупі аз;
- дайындамаға және білдек бағыттаушыларына жемірілу әсерін тигізбейді;
- қолжетімді әрі қымбат емес.

Тікелей немесе ерітілген майлар болып табылатын майлау-суыту сұйықтықтарының негізгі мақсаты құрал-дайындама бетіндегі жылуды жою және майлау болып табылғандықтан, бұл салада сұйықтықты жеткілікті мөлшерде жеткізудің маңызы өте зор. Сұйықтық өтетін шүмектің көлемі мен пішіні де өте маңызды. Майлау-суыту сұйықтық нәтижелі болуы үшін оның дұрыс көлемі кесу аймағына тиісті қысыммен берілуі тиіс. Егер майлау-суыту сұйықтық құрал-дайындама (WP) шегінде тиісті аймаққа және дұрыс мөлшерде жағылмаса, сұйықтық жылып кетеді және жылуды бұру қабілетінен айрылады. Бұл өз кезегінде бөлшектерді әрлеу сапасының нашарлауына және құралдың қызмет ету мерзімінің төмендеуіне алып келеді. Жалпы, суытатын сұйықтықтың температурасы 65°C-тан аспауы тиіс.

Кейбір тұндырғыштар (әдетте шағын) майлау-суыту сұйықтықтарын суыту үшін суытқыштарда қолданылуы мүмкін. Чиллер машинаға орнатылса, олардың дұрыс жұмыс істейтініне көз жеткізу керек. Эмульгацияланатын сұйықтықтар уақыт өте бұға айналу себебінен суды жоғалтады. Машинадағы суық агенттің тиісті концентрациясын сақтау үшін және тұндырғыштарда жылудың шектен тыс жиналуын жою үшін бұл су толтырылып отыруы тиіс.

Басқа маңызды фактор майлау-суыту сұйықтықтың тазалығы болып табылады. Майлау-суыту сұйықтыққа жоңқа, құм және шаң түседі, және егер олар құрал-бұйым интерфейсіне осындай күйде жеткізілсе, дайындаманың әрленуін бұзуы мүмкін. Сондықтан суытатын бактегі майлау-суыту сұйықтықты сүзіп және қайта-қайта ауыстырып отыру қажет. Сұйыққоймаға жана өнімді салар алдында сұйыққойма және барлық құбырлар, сорғылар және тұндырғыштар тиісті түрде жуылып, шайылуы тиіс. Жоңқа мен чиптер тез көбейетін шаң мен бактерия тартады. Бұл жағдайды одан әрі нашарлатуы мүмкін.

Майлау-суыту сұйықтықтарының жалпы сипаттамалары және тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларда орындалатын нақты өңдеу операцияларындағы ұсыныстар осы тарауда келтірілген. Жарайтын майлау-суыту сұйықтығын және оны пайдалану тәсілін таңдау кезінде дайындама материалына (мысалы, жемірілу, кернеумен жеміріліп шытынау), білдек компоненттеріне мүмкін болатын әсерін, денсаулыққа келетін қаупін, қоршаған ортаға әсер етуін, сондай-ақ пайдаға жарату мүмкіншіліктерін ескеру қажет [17].

4.3.2 Майлау-суыту сұйықтықтарының түрлері

Майлау-суыту сұйықтықтары сұйықтықтар, газдар, химиялық ерітінділер, майлайтын заттар түрінде болуы мүмкін.

4.3.2.1 Су негізіндегі сұйықтықтар

Олар эмульсиялар (май, жұмсақ суда диспергацияланған) немесе синтетикалық сұйықтықтар (сондай-ақ құрамында май жоқ химиялық сұйықтықтар деп аталатын, еритін сулағыштар, май мен тұз баяулатқыштары) болуы мүмкін.

Су негізіндегі эмульсиялар минералды майларға қарағанда жоғары жылу сыйымдылығына (масса х жоғ. жылу) ие. Әдетте суытатын әсер өте маңызды болып табылатын эмульсиялар жиі қолданылады. Осы себептен эмульсиялар жоғары кесу жылдамдығында (барлық МСС 90%-ға жуығы) жиі қолданылады. Эмульсиялар суықагенттердің қымбат емес түрі болып табылады, онда май сумен белгілі бір пропорцияда араластырылады. Эмульгатор ретінде сабынның аз мөлшерін қосады, бұл ретте эмульсия сүттей аппақ түске ие болады. Егер қоспа әлсіз болса (май аз болса) ол жемірілуді және төмен жағу қасиеттерін тудыруы мүмкін. Типтік концентрациялар (май/су):

- ажарлау операциялары үшін 1/40-1/60;
- басқа өңдеу операциялары үшін 1/20.

Араластырар алдында қатты суды 1 л суға 2 г сода қосып жұмсарту маңызды. Араластырудан кейін майдың бөлінуінің негізгі себептері араластыру процедурасының дұрыс болмауы немесе судың шектен тыс қаттылығы болып табылады [1].

Синтетикалық сұйық майлар болжамды қасиеттері бар бақылауға келетін молекулалық құрылымға ие. Полиальфаолефин сияқты синтезделген көмірсутектер майлау-суыту сұйықтықтарын кейбір қолдануда минералды майды ауыстыру үшін қолданылады. Ұзын тізбекті спирттер де арнайы қолданыстар үшін пайдаланылады. Алайда бұл синтетикалық сұйықтықтар үшін нарық онша дамымады [16].

4.3.2.2 Таза майлар

Олар майлау ең маңызды фактор болған кезде ғана қолданылады. Осылайша, олар өңделген беттердің керемет сапасын қамтамасыз ету үшін және кесу күшін басу үшін тістерді кесу, бағдар бойынша жанармай құю, тесік ашу, бұрғылап кеңейту, тарта жону және жаныштау сияқты операциялар үшін ғана арналған. Бұранда кесу және қашау, құралдың жиегінде балқитын майлау сияқты операциялар үшін майлардан да ыңғайлы болуы мүмкін. Парафин өзінің керемет сулаушы қасиеттерінің арқасында таза майда емес, кейде АІ-қорытпаларда пайдаланылады.

Жоғары бағасына қарамастан, тік кесу майлары автоматикада тағы бір қолданыс табады, себебі жону операцияларының көбісі үшін толық қанағаттандырылғы су негізіндегі суық агенттер майдың ластануын, сәйкесінше индекстеуші механизмдердің [1] күрделі тозуын тудыра отырып, үлкен ықтималдықпен бас дайындамаға түседі.

Тік кесу майлары негізгі екі май типімен араласуы мүмкін:

- Минералды майлар, мысалы парафин және басқа мұнай майлары. Олар майлы майларға қарағанда арзанырақ және төзімдірек. Осы себептерден олар әдетте майлы майлармен араластырылады.

- Майлы майлар – органикалық, жануар тектес және өсімдік тектес (кит, шошқа және рапс). Олар қымбат және исі жағымсыз, дегенмен экологиялық жағынан қауіпсіз. Олар өте жоғары жағу қасиеттеріне ие және жақсы әрлеуді арттырады (егер майлар жоғары созылатын болаттар үшін қолданылса). Екінші жағынан, олардың минералды майларға қарағанда тұрақтылығы аз және ұзақ пайдаланған жағдайда ыдырауы мүмкін.

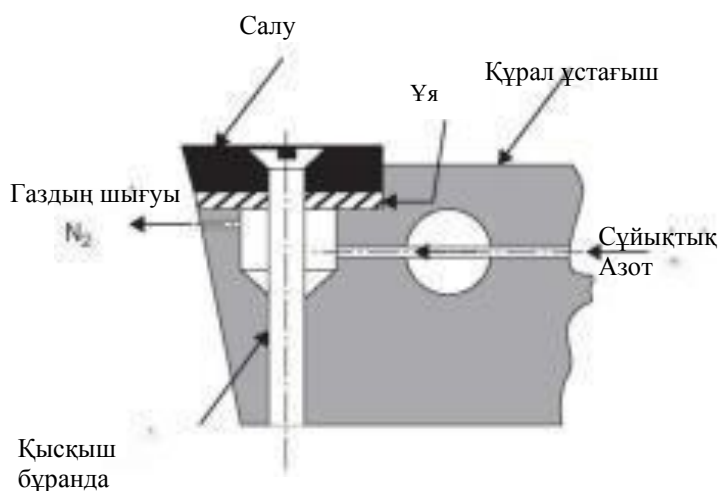
Сульфатталған және хлорланған ЭҚ-майлар

Экстремалды қысым (ЭҚ) қоспалары кесу күші айтарлықтай жоғары (ойма тілу және тарту) болған кезде немесе жоғары берілістерде орындалатын операцияларда қосылады. ЭҚ-қоспалар жоңқа/құрал түйісінде барынша қатты және барынша тұрақты пішінді қамтамасыз етеді. Бұл қоспаларға металдардың сульфидтерін, хлоридтерін және фосфаттарын түзе отырып кесу аймақтарында жоғары температураларда әсер ететін күкірт, хлор немесе фосфор қосылыстары кіреді. Майлау-суыту сұйықтықтарының көбісі оларға химиялық біріккен күкітті енгізу арқылы сульфатталады. Оның басты артықшылығы құрал/жоңқа шегінде үлдір түзе отырып, жоңқаның қысыммен пісірілуінің алдын алуында; ол пісірілуге қарсы қасиеттерге ие, осылайша тоқырау аймағының түзілуіне кедергі келтіреді. Алайда бұл майлар кейбір қоспаланған болаттарға және ыстыққа төзімді қорытпаларға қара дақ қалдыруы мүмкін, бұл туралы алда қарастырылады.

4.3.2.3 Сұйық газ және криогендік суық агенттер

Соңғы уақытта олар ең алдымен әдеттегі минералды майлармен және эмульсиялармен туындаған қоршаған ортаға жағымсыз әсерді жою үшін кесу және ажарлау кезінде суыту сұйықтықтары ретінде қолданылады. Сұйық күйдегі (-200°C) азот кесу аймағына оның температурасын күрт төмендету үшін шағын шүмектер арқылы себіледі, сосын буға айналады. Сәйкесінше, құралдың қаттылығы мен қызмет ету мерзімі сақталады және жоғары кесу жылдамдықтарына рұқсат етіледі. Ыстық жоңқалар қатты шынықтырылғандықтан барынша сынғыш болып қалады, сондықтан жоңқа сындырғышты пайдаланбай-ақ оңай сынады; кейін оңай пайдаға жаратылады. Криогендік суыту нәтижесі қоршаған ортаға әсер етусіз өндеудің үнемделуін жақсарту болып табылады.

4.17-суретте көрсетілген арнайы әзірленген құрал ұстағышы қолданылады, онда сұйық азот құралмен байланысқа түспес бұрын газтәрізді күйге түрленеді. Азот дәл ендіріме астына шағын тесік арқылы өткізу үшін жасалған. Бұл конструкцияда газ тағы түзілген жоңқаны суыту үшін кескіш жиекке қарай барады. Бұл жоңқаның оңай бұзылуы үшін жоңқаның сынғыштығын арттырады.



4.17-сурет. Криогендік суытуға арналған арнайы әзірленген құрал ұстағыш.

Криогендік сұйықтықтың шығу тесігі кескіш құралдың ұшына жақын.

4.3.2.4 Қатты майлар

Бұл MoS_2/Ti -композитті жабындар немесе WC/C -жабындар және Инконель 718 өңдеу кезінде пайдалы нәтижелер көрсетеді [35].

4.3.3 Қолдану әдістері

Майлау-суыту сұйықтықты жағу тәсілі оны таңдау сияқты маңызды. Пайдалану әдістері [29]:

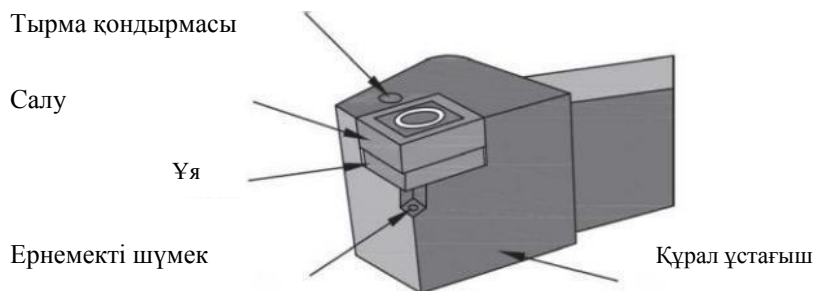
1. *Қолмен жағу*: Бұл әдіс тіпті жұмыс жағдайларында да қолайлы емес, себебі тиімсіз әрі таза емес.

2. *Батыруды пайдалану*: Бұл майлау-суыту сұйықтықтарын пайдаланудың қарапайым тәсілі. Көптеген білдектер сүзгілерді қосуды қайта айналдыру жүйесімен жабдықталған. Сұйық әр ілінген кескіш жиек үшін әдетте 15 л/мин жылдамдықпен қолданылады. Ыңғайлы болу үшін құрал сынық жағынан батырылған, бірақ саңылау қуысына қолдана отырып суытқан дұрыс.

3. *Суытатын сұйықтығы бар құрал*: Бұрғылар және тесіктер қарастырылған басқа жабдықтар бар, сондықтан майлау-суыту сұйықтықтары қысыммен кескіш жиектерге қайта айдалуы мүмкін, ол майлау-суыту сұйықтықтарының кіруін қамтамасыз етеді және жоңқаны алып тастауды жеңілдетеді [29].

4. *Тұманды пайдалану*: Ауада қалықтаған сұйықтық тамшылары оларды себу есебінен тиімді суытуды қамтамасыз етеді, алайда дайындаманы бөлек ағынды суыту қажет болуы мүмкін. Демистор көмегімен ауа тұманын шектеу бойынша шаралар қабылдануы тиіс [29].

5. *Майдың ең аз мөлшері (МММ)*: сондай-ақ құрғақ дерлік өңдеу (ҚДӨ) деп аталады, ол майлау-суыту сұйықтықтарын оңтайлы ағын жылдамдықтарында беру деп анықталады, майлау-суыту сұйықтықтың аз мөлшері тікелей кесу аймағын арттырады. МММ ағынмен салыстырғанда құралдың тозуы, беттік әрлеу және түзілудің тоқырау аймағы сияқты ұғымдармен түсіндіріледі [36].



4.18-сурет. ҚДӨ-ге арналған құрал ұстағыштағы тесіктер

ҚДӨ-де майлау-суыту сұйықтығы 4.18-суретте көрсетілгендей, құралдың бүйір және алдыңғы шеттеріндегі май тесіктері арқылы сығылған ауамен жонғыш құралдың кесу нүктесіне беріледі.

Алайда құрғақ өңдеу келесі артықшылықтарға ие:

- Атмосфераның жұтылмауын және денсаулыққа, әсіресе тері мен тыныс алу органдарына келтіретін қауіпті азайтады.
- Компоненттерді механикалық өңдеуге ұшырататын ешқандай булаусыз, ол тазалау бағасын төмендетеді.

4.3.4 Тот баспайтын болаттарға арналған майлау-суыту сұйықтықтары

Майлау-суыту сұйықтықтарын көміртекті немесе қоспаланған болаттарға қарағанда тот баспайтын болаттарды өңдеу үшін пайдаланған дұрысырақ. Оның екі себебі бар. Біріншіден, тот баспайтын болаттар әдетте көміртекті немесе қоспаланған болаттарға қарағанда аз өңделеді, ал екіншіден, тот баспайтын болаттың төмен жылу өткізгіштігі суытуға қажеттілікті арттырады. Кесу аймағынан жылу ағынын шектеу құралдың жанып кетуіне және өңделетін беттің күйіп кетуіне алып келеді. Жылулық реңк беретін бояулармен сипатталатын тот баспайтын болаттан жасалған беттердің күйіп кетуі жемірілуге төзімділікті нашарлатуы мүмкін, сондықтан оның алдын алу керек. Күйіп кету өтелуі немесе жөнделуі қиын бұрмалауға алып келуі мүмкін.

Тот баспайтын болаттарды өңдеу үшін минералды майлар немесе суда еритін эмульгацияланатын майлар қолданылуы мүмкін. Минералды майлар төмен жылдамдықтарда үлкен жүктемелермен өңдейтін ауыр операциялар үшін және ЖЖБ құралдары қолданылатын жерлерде қолдануға жақсы келеді. Эмульгацияланатын майлар қатты қорытпалы жабдықпен өте жоғары жылдамдықтарда өңдеу үшін қолданылады.

4.3.4.1 Кесуге арналған сульфохлорланған майлар

Заманауи технологиядағы тот баспайтын болаттарды кесу майлары белсенді ЕР және құйма майлардың табиғи және синтетикалық қоспалары бар парафинді төмен сынамалы штоктардан тұрады. Бүгінгі таңда кескіш майларда қолжетімді қоспалар пакетінің кейбірі нақты операцияларға немесе тот баспайтын болаттардың нақты маркаларына арналған. Осы қоспалардың тот баспайтын болатты кесуі қиын болуы себепті әдетте басқа материалдар үшін қолданылатын кесуге арналған майларға қарағанда қымбат.

Сульфо-хлорланған майлардың екі түрі тот баспайтын болаттарды өңдеу үшін ұсынылады:

1. Белсенді күкірттен және шамамен 8-10% майлы майдан тұратын сульфо-хлорланған минералды майлар (38°C кезіндегі тұтқырлығы 200 Сус). Ол негізі тот баспайтын болаттарды еркін механикалық өңдеу үшін қолданылады.

2. Белсенді күкірттен тұратын, май негізіндегі майлар қосылмаған сульфохлорланған минералды май (38°C кезіндегі тұтқырлығы 130 Сус). Ол әдетте тот баспайтын болаттарды еркін механикалық өңдеу үшін қолданылады.

Парафин өңдеу жағдайларына қарай екі майды араластыру үшін қолданылады. Әдетте алғашында сульфохлорланған майдың парафин майымен 1:1 қатынастағы қоспасын қолданады. Егер құралдың шектен тыс тозуы орын алса, парафин майын көбірек қосу керек. Егер кескіш жиек мұқалуға (немесе жануға) бейім болса, ал жоңқа құралға пісірілсе, араластыруды азайту мүмкіндігін қарастырыңыз.

СҚ-ны механикалық өңдеу үшін сульфо-хлорланған майларды қолдану кезінде келесі ұсыныстар (берілген: Кларк, Кливленд, Огайо) қаралуы тиіс:

1. Тот баспайтын болаттан жаңа жұмыс қосар алдында, жұмыс неғұрлым қиын болса, кескіш майдың күкірттелуі соғұрлым жоғары болуы тиіс екенін есте сақтау керек.

2. Еркін өңдеудегі тот баспайтын болаттарды өңдеу үшін жоғары жылдамдықты және оңай берілісті автоматтық бұрандалы машиналарды қолдану кезінде сульфохлорланған майдың бір бөлігінен парафин майының бес бөлігіне дейін қоспасы ұсынылады. Еркін өңделетін қорытпаларды бұрылау, ойма тілу және жону сияқты операцияларды орындау үшін осы білдектерді орташа жылдамдықта пайдалану кезінде сульфохлорланған майдың бір бөлігінен және ЭП қоспаларының пайызы жоғары парафин майының үш бөлігінен тұратын тұтқырлығы жоғары қоспа ұсынылады.

3. Ірі сомын, бұрандама үшін сульфохлорланған майдың бір бөлігінің парафин майының 2 бөлігіне қоспасы ұсынылған. Алайда сульфохлорланған майларды жоғары Ni-қорытпаларда пайдаланбаған жөн.

4. Аустенитті еркін емес тот баспайтын болаттарды өңдеу кезінде сульфохлорланған майдың (8-10% майлы майды қосумен) бір бөлігінің парафин майының бір бөлігімен қоспасы ұсынылады.

5. Әдеттегідей, еркін өңделетін болаттар үшін қоспада парафин майының пайызы көп болуы тиіс.

6. Шағын диаметрдегі тесіктерді бұрғылау кезінде жағатын майдың тұтқырлығы құрал ұштығына жететіндей жеткілікті түрде төмен болуын қадағалау керек.

7. Май берілістер мен жылдамдықтарға, механикалық өңдеуге ұшыратылатын тот баспайтын болаттардың типіне, шекті сынуға және бөлікті әрлеуге қалай қатысты екеніне қарай, кесу майының тиімділігін арттыру үшін майды жеткізушімен жұмыс істеу маңызды. Майды жеткізуші бұны нақты қолдану үшін ең жоғары өнімділікке қол жеткізу үшін өз өнімін нақты баптау арқылы орындай алады.

4.3.4.2 Эмульгацияланатын сұйықтықтар

Су-эмульсиялы (суда еритін) майлау-суыту сұйықтықтары тот баспайтын болаттарды өңдеу үшін де, әсіресе жоғары жылдамдықта қатты қорытпалы құралмен кесу сияқты үлкен суыту операцияларында қолданылуы мүмкін. Тот баспайтын болаттарды өңдеу үшін бұл сұйықтықтардың құрамында тот баспайтын болаттан тікелей жағылатын майларда қолданылатын ұқсас EP-қоспалар болуы тиіс. Алайда, су-эмульгацияланатын сұйықтықтар майлау-суыту сұйықтығымен жағатын май араластырылмайтын машиналарда ғана қолданылуы мүмкін.

Көптеген эмульгацияланатын сұйықтықтар қалай жақсы түзілгеніне қарамастан тікелей мұнай өнімдері сияқты артықшылықтарға ие емес. Бұдан бөлек, олар кейбір ауыр кесу операцияларын көтере алмайды. Дегенмен кейбір жағдайларда бұл сұйықтықты қолдану өңделген беттің жақсаруына және кесу аймағынан жылудың жақсы бұрылу қабілетіне әкелуі мүмкін. Осы майлау-суыту сұйықтықтарын пайдалану тікелей мұнай өніміне қарағанда үнемдірек.

4.3.4.3 Тот баспайтын болаттар үшін майлау-суыту сұйықтықтарын таңдау

Әртүрлі операцияларды қолдана отырып, тот баспайтын болат қорытпаларының әртүрлі типі үшін майлау-суыту сұйықтықтарын таңдау туралы қосымша ақпарат 4.9-кестеде келтірілген.

Майлау-салқындату сұйықтықтарының кодтары

А Өте қуатты, белсенді күкірт, майлар, хлор қоспалары / дәнекерлеу тігісінің ауыр қарсы қасиеттері; A2 Өте қуатты, белсенді күкірт, майлар және құрамында хлор бар қосылыстар / дәнекерлеу тігістерінің ауыр анти-қасиеттері, оңай тұтқырлық 120 Cус@ 35°C;

Б Өте қуатты, белсенді күкірт, майлар және құрамында хлор бар қосылыстар / тұтқырлығы 190/220 Cус@ 35°C дәнекерлеу тігістерінің ауыр анти-қасиеттері;

К Өте қуатты, белсенді күкірт, май және хлорланған қоспалар 150/170 Су@ 35°к;

D Хлордан боса, жемірілмейді, қатты байытылған сульфатталған май қышқылдары және EP қоспалары;

E Жоғары EP, қатты бекітілген дәнекерлеуге қарсы тігіс және белсенді күкіртті қоспалардың көтеруші жүктемелері;

F Өте берік, белсенді емес күкірт, майлар және хлорланған қосылыстар / ауыр дәнекерлеуге қарсы қасиеттері, тұтқырлығы 50/170@ 35°С;

4.9-кесте. Аустенитті, ферритті және мартенситті болаттарға арналған майлау-суыту сұйықтықтарын таңдау бойынша ұсыныстар

Өңдеу операциялары	Аустенитті ТБ		Ферритті және мартенситті
	Еркін	Еркін емес	
Айналу Жону Орау Бұрғылау	D, M, N	F, L	D, M, N
Терең бұрғылау Бұрғылау Тесу	A2, L	A2	A2, L
Қосу Ойма тілу Бұранды ою	C	L, D	B
Қалыпты басу Бұранда бүрлеу	E, L	B, E	E, L
Тік тарту Көлденең тарту Арамен кесу Центрсіз ажарлау	L A L O	L, A A L O, L	L A L O

Деректер Clark Oil and Chemical, Cleveland, Ohio компанияларымен ұсынылған [36].

L қажалуға қарсы қоспалары жоғары өте қуатты еритін май;

M жалпы тағайындалымдағы, биотұрақты, көбік мөлшері төмен, жемірілуге қарсы қоспалары жақсы, қатты байытылған хлорсыз немесе күкіртсіз синтетикалық материал жалпы тағайындалымдағы, жоғары дәрумендендірілген жартылай синтетикалық ЭҚ-қоспа; Ауыр синтетикалық (центрсіз ажарлау үшін жасалған).

4.3.5 Ыстыққа төзімді қорытпаларға арналған майлау-суыту сұйықтықтары

Кез келген дерлік майлау-суыту сұйықтығын ыстыққа төзімді қорытпаларды механикалық өңдеуге ұшырату үшін қолдануға болады. Көптеген қолданыстарда Ni негізіндегі қорытпалар әдеттегі сульфатталған минералды майға жақсы әсер етеді. Күкірт жақсы жағу қасиеттерін және дәнекерлеу тігістерінің анти-қасиеттерін береді. Ұсынылатын майлау-суыту сұйықтықтары әртүрлі қорытпалар типі үшін өңдеу процестері қолданылады.

4.3.5.1 Жонып өңдеу, сүргілеу, өңдеу және кеңейту

Май: Су = 1:(20-40) қоспасындағы суда еритін майлар көбінесе ыстыққа берік қорытпаларды қайрау кезінде қолданылады. Су негізіндегі химиялық эмульсиялар да тиімді болып шықты [17]. Сұйықтық құрамына қарағанда, кесу аймағына тұрақты ағынның берілу маңыздырақ. Кейбір жонып қолдануда тұтқырлығы төмен минералды маймен тікелей немесе 1:1 араластырылған сульфатталған немесе хлорланған кескіш майлар қолданылады. Минералды маймен араластыру барынша ыңғайлы суытуға мүмкіндік береді. Белсенді майлар тиімді еритін майлар болып табылады, онда бет шешуші мәнге ие және құралдарды қайрау үшін қолданылады [17].

Егер сульфохлорланған май қолданылса, май мен дайындаманың температурасы жұмыстың күкіртпен қоңырға боялатынындай жеткілікті түрде жоғары болады; боялған жер

натрий цианидінің немесе хромның күкірт қышқылының тазартқыш ерітіндісінің көмегімен оңай кетеді. Бұл бастиекті дәнекерлеу мен өңдеуді қоса алғанда, кез келген термиялық өңдеу алдында жасалуы тиіс, себебі жоғары температураның әрі қарай әсер етуі кристаллитарлаық беттік шабуылды тудыруы мүмкін. Бұның алдын алу үшін бөлшектерді жоғарыда аталған тазартқышға дақты кетіруге жеткілікті уақытқа салу керек. Жоғары температура тудыратын ӨЖЖ карбидті құралдардың күкіртпен морттануы себепті сульфатталған майды пайдалануға кедергі келтіруі мүмкін, себебі пісірілген карбидтер жоғары температураларда күкірттің әсер етуіне сезімтал Ni-немесе Co-матрицаға ие [17].

4.3.5.2 Тарту

Ыстыққа төзімді қорытпаларды тартудағы басты қиындық төмен кесу жылдамдығы болып табылады, онда кескіш жиекте тоқырау аймағы түзілуі мүмкін, соның салдарынан тарту тез тозады. Жақсы суыту айтарлықтай көмектесуі мүмкін, себебі майлау-суыту сұйықтық оңтайлы нәтижелер алу үшін түзілуді тежейді [17]. Хлормен және синтетикалық қоспалармен қатар 1%-ға жуық белсенді күкірттен тұратын майлар жиі қолданылады. Тарту кезінде майлау-суыту сұйықтықты көп берудің сұйықтық құрамына қарағанда маңызы зор. Ол 35 кПа-ға дейінгі қысыммен берілуі тиіс. Кесуге арналған май қарапайым минералды маймен 1:1 араластырылуы тиіс. Тұтқырлығы 300 Сус жоғары кесуге арналған майларды тарту үшін қолданбаған жөн. Сондай-ақ бұзылған беттік бөлшектердің боялуын болдырмау үшін дәнекерлеу немесе термоөңдеу алдында тартудан кейін сульфохлорланған майларды мұқият тазарту да маңызды.

4.3.5.3 Бұрғылау және бұрғылап кеңейту

Белсенді майлау-суыту сұйықтықтары (сульфатталған, хлорланған немесе сульфохлорланған) әдетте еритін майлардың эмульсияларына немесе су негізіндегі басқа майлау-суыту сұйықтықтарына қарағанда ең жақсы қызмет ету мерзімін және бұрғылау өнімділігін қамтамасыз етеді. Белсенді майлардың өнделетін материал қаттылығының және тесік тереңдігінің артуына қарай барынша көп артықшылыққа ие болады. Белсенді майларды қолдану кезінде майдан қалған барлық дақтар жоғары температурада кез келген өңдеу алдында кетірілуі тиіс. Бітеу тесіктер ерекше назар аударуды қажет етеді [16].

4.3.5.4 Бұранды ою және ойма тілу

Сульфохлорланған майларды ыстыққа төзімді қорытпаларды шығару үшін қолданған жөн. Оны көп мөлшерде жеткізген жөн, және шүмек арқылы тесікке шамамен 35 кПа қысыммен құйылуы тиіс. Егер май өте тұтқыр болса, оның жағу қасиеттерін нашарлатпай-ақ одан жұқа минералды маймен бөлуге болады. Бұдан бөлек, майлар кез келген жоғары температурада қызмет көрсету алдында бұранды оюдан немесе ойма тілуден кейін толық кетірілуі тиіс [16].

4.3.5.5 Фрезерлеу

Ыстыққа төзімді қорытпаларды фрезерлеу кезінде сульфохлорланған май жонғыштың пайдаланылған жағында көп мөлшерде енгізіледі, дегенмен еріген май эмульсиялары да қолданылады, себебі олар тікелей майларға қарағанда құралдар мен дайындамалардың ең жақсы сууын қамтамасыз етеді. Кескіш әсерді және беттің жақсы сапасын арттыруда көп шығынсыз аққыштықты қамтамасыз ету үшін барынша жұқа минералмен (50%-ға дейін) араластырылады.

4.3.5.6 Арамен кесу

Химиялық эмульсиялар негізінде ыстыққа төзімді қорытпаларды кесу үшін майлау-суыту сұйықтықтары ретінде ұсынылған. Алайда еріген майдың қарапайым эмульсиялары да қанағаттанарлық нәтижелер береді. Қолданылатын майлау-суыту сұйықтығына қарамастан кесілетін жерге көп жеткізу маңызды.

4.3.5.7 Ұсақтау

Ыстыққа төзімді қорытпалар төмен жылу өткізгіштікке ие болғандықтан, жұмыс бетінің қызып кетуін және қисайып кетуін болдырмау үшін тегістейтін сұйықтықтар ажарлау аймағында көп мөлшерде қолданылуы тиіс. Ыстыққа төзімді қорытпаларға арналған тегістейтін сұйықтықтарды төрт негізгі топқа бөлуге болады (4.10-

кесте). Ыстықты тиімді кетіру үшін май-су негізіндегі қатты сульфатталған эмульсиялар кез келген қорытпа үшін ең жақсысы. Сульфатталған майлар жарайды; алайда олар су негізіндегі еріген май эмульсияларына карағанда жылуды аз кетіреді.

Хлорланған май (шамамен 1% хлор) 5 5 ^м шектегі қалыптың тегістейтін шеңберлерін ылғалдай түзетуде маңызды. Синтетикалық ерітінділер мен суда еритін май эмульсиялары мұндай қабілетке ие емес [17].

Хлорланған сұйықтықтардың кемшілігі мынада: дайындамаға жоғары температурада қызмет ету кезінде ыстыққа төзімді қорытпалармен әрекеттеседі. Осы себепті ыстыққа төзімді қорытпаларды пайдаланушылардың көбісі хлорланған тегістейтін сұйықтықтарды ұнатпайды [17].

4.10-кесте Ыстыққа төзімді болаттарға арналған борлы сұйықтықтарды сәйкестендіру және жіктеу	
Ұсақтау	Ескертулер
Сұйықтық	
<i>Еритін-мұнай эмульсиясы (тұрақты)</i>	
S1	Құрамында сабын бар
S2	Құрамында сабын мен майлы заттар бар
S3	Эмульгирленген керосин
<i>Еритін-мұнай эмульсиялары (ауыр)</i>	
H1	Құрамында күкірт және хлор бар
H2	Құрамында ТББ арналған күкіртті майлар бар
H3	Құрамында күкірт және бактерияға қарсы қоспалар, жоғары пайыз майлар бар
H4	Құрамында ТББ арналған майлы заттар, синтетикалық сабын бар
<i>Химиялық (синтетикалық) ерітінділер</i>	
C1	Қолдану үшін сұйыту алдында 35% калий нитриті (KNO ₂) бар
C2	Құрамында натрий нитритінің орташа пайызы бар
C3	Синтетикалық балауыз негізінде
<i>Ажарлайтын майлар</i>	
G1	Құрамында майлар, 4% күкірт және 2% хлор бар мөлдір сульфохлорды өсімдік майы (екі белсенді), 40°C кезінде sus тұтқырлығы
G2	Қара сульфохлорирленген өсімдік майы, құрамында майлар, 3% күкірт және 0,5% хлор (екі белсенді), 40°C кезінде 190 су тұтқырлығы
G3	Құрамында майлар бар, күкірт немесе хлор қосылмаған, тұтқырлығы 300 Сус в 40

АМҚ нұсқаулығынан алынды [16].

Басқа ДӨП-дей (дәстүрлі өндеу процестеріндегідей) майлау-суыту сұйықтықтарын таңдау негізі құнына байланысты. Эмульсиялар ең қымбат емес сұйықтық, ал тегістейтін майлар ең қымбат тегістейтін майлар болып табылады.

Тегістейтін сұйықтықтың түрі ұсақталу қабілетіне әсер етеді. 4.11-кестеде су негізіндегі сұйықтықтардың таңдалған екі қорытпаның (U-500 және J-1570) ұсақталу коэффициентіне әсері көрсетілген. Глиноземді тегістелген дөңгелек А-60-Н-8-V қолданылады. G-коэффициент алынып тасталатын металл көлемінің тегістейтін шеңбердің тозу көлеміне қатынасын білдіреді. Бұл көрсеткіш неғұрлым жоғары болса, материалды ұсақтау да соғұрлым оңай болады. 4.11-кестеде барлық ұсақтайтын сұйықтықтар 10% концентрацияға ие болды, бұл нормадан жоғары. Құрғақ (ауамен) ұсақтау су негізіндегі сұйықтықтардың көбісімен салыстырғанда аз қанағаттанарлық болып шықты. Жай сумен ажарлау нәтижесінде G-коэффициенті төмен болады. Ең жоғары G-қатынастар синтетикалық сұйықтықтармен алынды. Ұсақтайтын сұйықтықтар туралы толық ақпаратты анықтамалықтан таба аласыздар [17].

4.11-кесте. Екі қорытпаның (тегістейтін шеңбері а-60-Н8-В7) ажарлау коэффициентіне сұйықтықтың әсері

Тегістейтін сұйықтықтар	Төмендегілер үшін алынған ажарлау коэффициенті	
	U-500	J-1570
C1	3,5	2,8
H1	3,3	
H2	1,5	
C4		1,7
H3		1,3
C7		1,3
S1		4,1
S3		4,4
Ауа		0,9

АМҚ нұсқаулығынан алынды[16].

Әдебиетке сілтемелер

- [1] Youssef, H., El-Hofy, H. (2012) *Principles of Traditional and Nontraditional Machining*, Dar Elfath PreТББ, Alexandria.
- [2] Youssef, H.A., El-Hofy, H., Ahmed, M.H. (2011) *Manufacturing Technology - Materials, Processes, and Equipment*, 1ЕӨ edn. CRC PreТББ, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL.
- [3] Axinte, D.A., Andrews, P. (2007) Some considerations on tool wear and workpiece surface quality of holes finished by reaming or milling in Ni-base super alloys. *Proc. InEӨ. Mech. Eng., Part B* 221, 591-603.
- [4] Groover, M.P. (2010) *Fundamentals of Modern Manufacturing, Materials, Processes, and SyПҚӘӨs*, 4th edn. John Wiley & Sons Inc.
- [5] Kienzle, O., Victor, H. (1957) Spezifische Schnittkräfte bei der Metallbearbeitung. *WerkEӨattEӨechnik und Maschinenbau*, S. 222-225.
- [6] Wikipedia. Machinability <http://en.Wikipedia.org/wiki/Machinability> (accessed March 12, 2011).
- [7] Uehara, K., Skuurai, M., Takeshita, H. (1973) Cutting performance of coated carbides in electric hot machining of low machinability metals. *CIRP Kyűd.* 32(1), 97-100.
- [8] Maity, K.P., Swain, P.K. (2007) An experimental inveEӨigation of hot machining to predict tool life. *J. Mater. ProceТББ.Technol.* 198, 344-349.
- [9] Anderson, M., Patwa, R., Shin, Y.C. (2006) Laser-aТББiEӨed machining of Инконель 718 with an economic analysis, Center for Laser-based Manufacturing, School of Mechanical Engineering, Purdue University, USA, November 2005, *Int. J.Mach. Tools Manuf.* 46, 1879-1891.
- [10] KottenEӨette, J.P., Recht, R.H. (1982) Ultra-high-speed machining experiments. *Proceedings of NAMREC, 1982*, pp. 263-270.
- [11] Sharma, V.S., Dogra, M., Suri, N.M. (2008) Advances in turning proceТББ for productivity improvement - A review, *Proc. InEӨ. Mech. Eng, Part B.* 222, 1417-1442.
- [12] Turkovich, B.F. (1979) Influence of very high cutting speed on chip formation mechanics. *Proceedings of NAMRC-VII, 1979*, pp. 241-247.
- [13] Vaughn, R.L. (1960) Ultra high speed machining, *Am. Mach.* 107(4), 111-126.
- [14] Vaughn, R.L. (1960) *Recent Developments in Ultra High Speed Machining*. Technical paper 255, Vol. 60, Book 1, Society of Manufacturing Engineers.
- [15] Vaughn, R.L. (1960) *Ultra High Speed Machining - Feasibility EӨudy*, Final report, contract AF 33 (600) 36232, PED, Lockheed Aircraft Corporation, June 1960.
- [16] Flom, D.G., Komanduri, R. (1989) *АМҚ Handbook: Machining*, Vol. 16, АМҚ International, Materials Park, OH
- [17] Kalpakjian, S., SXӨid, S.R. (2003) *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, 4th edn. Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ.
- [18] Flom, D.G. (1985) High speed machining, in *Innovations in Materials Processing* (eds G. Bruggeman, V. WeiТББ), Plenum PreТББ, pp. 417-439.
- [19] Manyindo B.M., Oxley, P.L.B. (1986) Modelling the cataEӨrophic shear type of chip when machining StainlessSteels, *Proc. InEӨ. Mech. Анг. Part C*, 200.
- [20] Komanduri, R. (1982) Some clarification on the mechanics of chip formation when machining Ti -alloys. *Wear* 76, 15.
- [21] Kramer, B.M. (1984) *On Tool Materials for High Speed Machining*, in *High Speed Machining*, АМҚЕ, pp. 127-140.
- [22] Skelton, C. (1969) Effect of ultrasonic vibration on the turning proceТББ. *Int. J. Mach. Tool Des. Res.* 9, 363-374.

- [23] Babitskya, V.I., Kalashnikov, A.N., Meadows, A., Wijesundara, A.A. (2003) Ultrasonically assisted turning of aviation materials. *J. Mater. Process Technol.* 132, 157-167.
- [24] Wang, Z.Y., Rajurkar, K.P., Murugappan, M. (1997) Wear of BKH tools in turning of silicon nitride with cryogenic cooling. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 37(3), 319-326.
- [25] Paul, S., Dhar, N.R., Chattopadhyay, A.B. (2001) Beneficial effects of cryogenic cooling over dry and wet machining on tool wear and surface finish in turning AISI 1060 Steel. *J. Mater. Process Technol.* 116, 44-48.
- [26] Diniz, A.E., Micaroni, R. (2007) Influence of the direction and flow rate of the cutting fluid on the tool life in turning AISI 1045 Steel. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 47, 247-254.
- [27] Yong, A.Y.L., Seah, K.H.W., Rahman, M. (2006) Performance evaluation of cryogenically treated tungsten carbide tools in turning. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 46, 2051-2056.
- [28] Shaw, M.C. (1982) *Metal Cutting Principles*. Clarendon Press, Oxford.
- [29] Schey, J.A. (2000) *Introduction to Manufacturing Processes*, 3rd edn. McGraw-Hill, International Editions.
- [30] Bhattacharyya, S.K., Pashby, I.R., Ezugwu, E., Khamseh-zadeh, H. (1987) Machining Inco 718 and Inco 901 super alloys with SiC-whisker reinforced Al₂O₃ composite ceramic tools. *Proceedings of the 6th International Conference on Production Engineering, Osaka, Japan, 1987*, pp. 176-181.
- [31] Ezugwu E.O. (2004) High speed machining of aero-engine alloys. *J. of the Braz. Cou. Mexa. Sci. & Eng.* 26(1): 1-11.
- [32] <http://www.britain.org.uk/> (accessed June 12, 2015).
- [33] Liew, W.Y.H. (2008) Ultra-precision machining of Stainless Steel using coated carbide tools, *Arch. Mater. Sci. Eng.* 31, 2, 117-120.
- [34] ISCAR-Cutting Tools Ltd (2002).
- [35] Dudzinski, D., Devillez, A., Moufki, A., Larrouquere, D., Zerrouki, V., Vigneau, J. ((2004) A review of developments towards dry and HSM of Inconel 718, *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 44, 439-456.
- [36] Byrnel, G.D. Dornfeld, B. Denkena (2003) Advancing cutting technology, *CIRP Kyûd.* 52(2) 483-507.
- [37] Clark Oil and Chemical Cleveland, Ohio (2002) Guidelines Suggested.

5

Тот баспайтын болаттарды дәстүрлі өңдеу

5.1 Тот баспайтын болаттардың өңделімділігі

2-тарауда сипатталған қарапайым тот баспайтын болат (ТБ) олардың беріктендіретін қасиеттеріне және кесу кезінде айкаудың үрдістеріне байланысты қиын өңделеді. Осы себептер бойынша S, Se, Те және т. б. еркін өңдеуге арналған элементтерді қосу арқылы негізгі қорытпалардың әрбір отбасында еркін өңдеуге арналған арнайы қорытпалар әзірленді. Алайда, осы элементтерді қосу есебінен жақсартылған өңдеу артықшылығына, әрине, тот баспайтын болаттардың басқа да маңызды қасиеттерінің нашарлауынсыз қол жеткізілмейді:

- коррозияға төзімділігі;
- беріктігі, икемділігі және беріктігі;
- ыстық өңдеу;
- суық қалыптылық;
- дәнекерлеу.

Өңдеуді жақсарту нашарлау қасиеттерінің, әсіресе коррозияға төзімділігінің ықтимал төмендеуімен теңдестірілген болуы тиіс.

Тот баспайтын болат пен ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу: дәстүрлі және дәстүрлі емес әдістер, бірінші басылым. Хельми А.Юсеф.

© 2016 JohnWiley&Sons, Ltd.

5.1.1 Тот баспайтын болаттардан жасалған еркін өңделетін қоспалар

Еркін өңдеуге арналған қоспалар құрал-сайманның қызмет ету мерзімін ұлғайтатын, кесудің жоғары жылдамдығын қамтамасыз ететін, сондай-ақ бетінің бір реттік және тазалығына әсер етуі мүмкін қосындыларды құрайды. Еркін механикалық өңдеу үшін маңызды қоспалар:

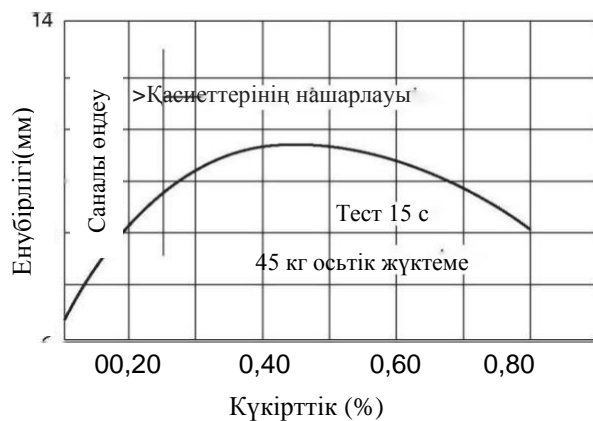
1. Күкірт (S): тот баспайтын болаттың өңделуін жақсарту үшін оны пайдалану 1930 жылдардың басына қарай шығады. Күкірт қосылымының саны басқа қасиеттердің мүмкін деградациясымен шектеледі. Күкіртті ұлғайту азайтылған жылдамдықпен болса да өңдеуді үздіксіз жақсартады (5.1-сурет). Күкірт құрамының ұлғаюы, сондай-ақ құралдың қызмет ету мерзімінің біршама өсуіне әкеледі, тіпті бос емес аустениттік қорытпалар үшін (АТБИ-304) рұқсат етілген күкірт құрамының типтік шегі шегінде (0,03%).

5.1-суретте еркін өңдеуге ұшыраған тот баспайтын болаттардың өңделуі күкірт құрамы 0,3-0,35% жоғары ұлғайған кезде біртіндеп төмендейді. Кесте жарияланған әдебиеттерді растайды, әсіресе 0,3%-тен жоғары деңгейде күкірт көп. Негізгі себеп жоғары кесу жылдамдығына байланысты өңдеудің жоғары температурасында майлау қабілетін жоғалту болып табылады. Осы сәтте күкірт негізінен құралды майлауды тоқтататын жоңқа қопарғыш ретінде әрекет етеді. Күкірт тот баспайтын болаттарда сульфидтің дискретті қосылуы (MnS) түрінде болады (5.2 сурет). Ірі және шар тәріздес сульфидтер ұсақ және ұзартылған. Үлкен сульфидтер құралдың қызмет ету мерзімін және оның бір реттік жарамдылығын (кесу жеңілдігі) арттырса да, олар беттің тазалығын азайтады [5]. Аустениттік ТББ АТБИ 303 еркін өңдеу арқылы кесу кезінде үстіңгі қабаттың орташа кедір-бұдырлығы (Ra) суретте схемалық көрсетілгендей сульфидті қосындылардың ауданының ұлғаюымен сызықтық өседі (5.3-сурет). Сонымен қатар, сульфид ауданының артуы қайта өңделетін болады.

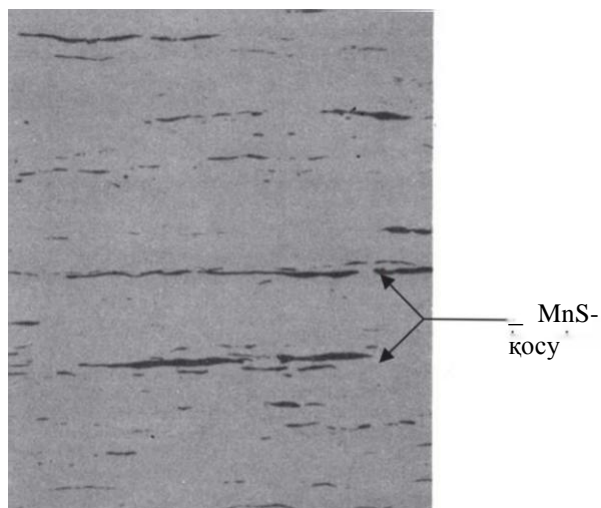
Mn төмен деңгейін қоспағанда, механикалық өңдеусіз тот баспайтын болаттардағы сульфидтер негізінен марганец сульфидтері болып табылады. Mn (немесе Mn/S) жоғары қатынасы еркін өңдеудің тот баспайтын болаттардың өңделуін қосымша жақсартады [6] (5.4 сурет). Жоғары Mn өңдеуді арттыру үшін пайдалану коррозияға төзімділікке әсер етеді. Құрамында Mn сульфидтері бар СС, құрамында Сг жоғары сульфидтері бар сульфидтермен салыстырғанда коррозияға төзімді болуы мүмкін. Еркін өңдеудің аустениттік қорытпалары ферритті және мартенситті еркін өңдеудің қорытпалары сияқты дәрежеде әсер етпейді [7].

Марганецті сондай-ақ АТБИ-303 немесе АТБИ-416-да әдейі шектеуге болады. Басқа тәсіл-титан сульфидтері сияқты баламалы сульфидтерді алу. Мұндай үлгінің мысалы феррит тот баспайтын болат еркін өңдеу (S18235) болып табылады (2.1-кесте).

2. Селен (Se): бұл MnSe қосылуын құрайтын тот баспайтын тағы бір болат агенттерде S өңдеуден кейін механикалық өңдеуден кейін әдетте қолданылатын сульфидтерге ұқсас. Күкірт Еуропада пайдаланылады, ал Se жиі АҚШ-та қолданылады. Se тот баспайтын болат өңдеудің жалпы сипаттамаларын жақсарту үшін S эквивалентті салмақтық пайызынан төмен тиімді (ең жақсы бұрғылау) [8] (5.5-сурет). Дегенмен, Se-мойынтіректі қорытпалар S-мойынтіректі қорытпаларға қарағанда бетті жақсы өңдеуді қамтамасыз етеді [9] (сурет. 5.6). Сонымен қатар, Se-тот баспайтын болат жақсартылған суық қалыптануды ұсына алады және тиісті S-мойынтіректі қорытпалармен салыстырғанда коррозияға төзімділігі біршама жақсарды. Se қоспалары, сондай-ақ ірі және одан да көп шар тәрізді және өңдеу үшін пайдалы сульфидтердің пайда болуы үшін S-құрамында қорытпалар қолданылады.
3. Теллур (Te): бұл Se және S сияқты, себебі ол сульфидтерге (MnTe) ұқсас қосылыстарды қалыптастырады. Теллур аустениттік тот баспайтын болаттың өңделуін жақсартуда тиімді. [10]



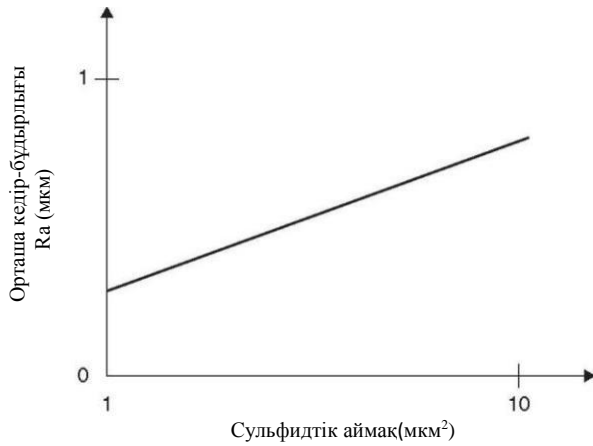
5.1 сурет. Аустенитті ТБАТБИ-304(18Cr-9Ni) үшін бұрғылау кезінде күкірт құрамының өңдеуіне әсері. (Металдарға арналған анықтамалықтан бейімделген [1].)



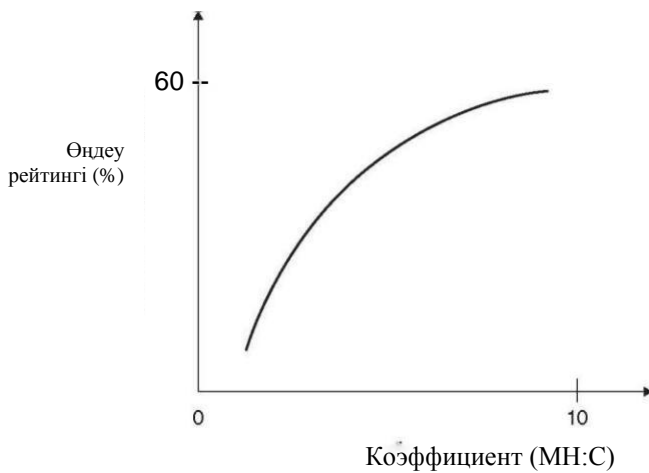
100 сағат

5.2-сурет. Механикалық өңдеусіз аустенитті ТБ қорытпасындағы АТБИ-303 сульфидті қосындылардың суреті.

(Сур. 5.7). Se сияқты, теллур сульфидтерді жылжыту үшін пайдаланылуы мүмкін. Те қолдану, ең алдымен, оның ыстық өңдеуіне, әсіресе аустениттік қорытпалар жағдайында қолайсыз әсер етуінен шектелген. Алайда, Те соңғы уақытта ферритті қорытпаларда күкірт пен қорғасынмен үйлескенде қолданылады.



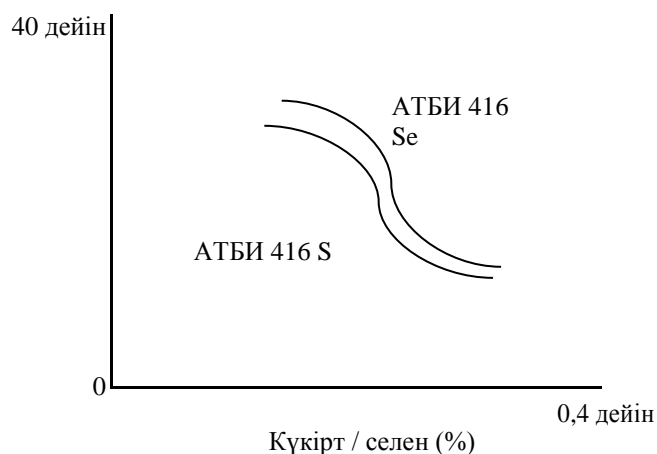
5.3 сурет. Механикалық өңдеусіз АТБИ-303 аустенитті ТБ қорытпасының га бетінің кедір-бұдырлығына сульфидті қосу ауданының әсерін көрсететін схемалық арақатынас



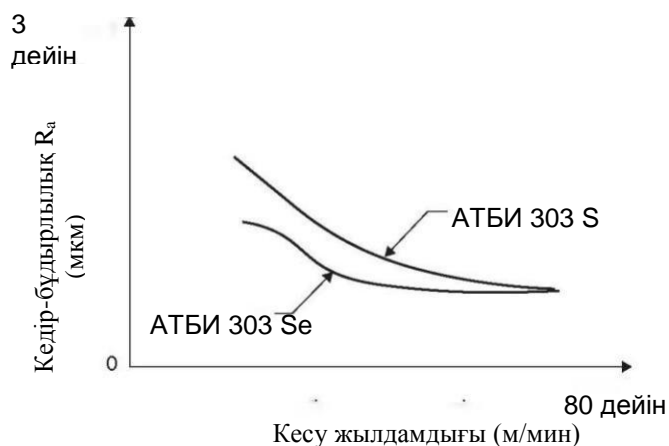
5.4 сурет. Mn:S арақатынасының мартенситті тот баспайтын болаттан еркін өңдеу-схемалық қатынасы.

4. *Қорғасын (Pb) және висмут (Bi):* Pb және Bi тот баспайтын болаттан төмен ерігіштігі бар. Қорғасын аустениттік тот баспайтын болаттардың өңделуіне, еркін өңдеуге арналған басқа қоспаларға қарағанда қолайлы әсер етеді [10] (сурет .5.8). Сондай-ақ, S шектелген немесе онсыз Pb пайдалану тек S қолданудан гөрі, үстіңгі бетті жақсы өңдеуге, коррозияға төзімділікке және суық қалыптасуға әкеледі [13]. Ұқсас әсерлердің болуы Bi-ді пайдалануға әкелді[14, 15]. Pb және Bi жүзеге асырылатын артықшылықтарға қарамастан, осы элементтерді қамтитын тот баспайтын болат шектеулі дәрежеде коммерциялық қолжетімді. ПБ пайдалану мәселелері уыттылықты, ыстық өңдеудің төмендеуін және болатта біркелкі дисперсияны алу қиындығына байланысты тұрақсыз өңдеулерді қамтиды[10, 14, 15]. Бор сондай-ақ ыстық өңдеу мәселелерін жеңілдету үшін пайдаланылады [16].

5. *Фосфор (P):* бұл S немесе Se-мен бірге қосындыларды қалыптастыру арқылы емес, қорытпаның матрицалық қасиеттерін өзгерту арқылы өңделуді жақсарту үшін қосылады. P қосудағы мақсат - қатал аустениттік қорытпаларды сіңіру.



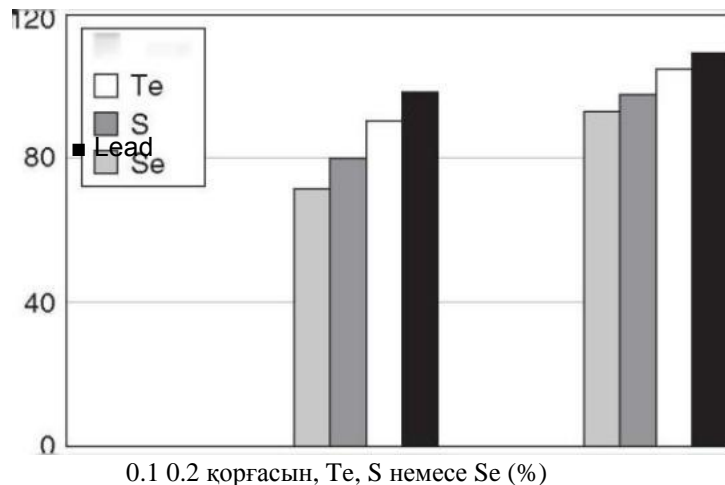
5.5 сурет. S-және SE-мойынтіректерді өңдеусіз 416 және 416 Se мартенситті тот баспайтын болаттардың өңделуінің салыстырмалы тесті (Кларктан).



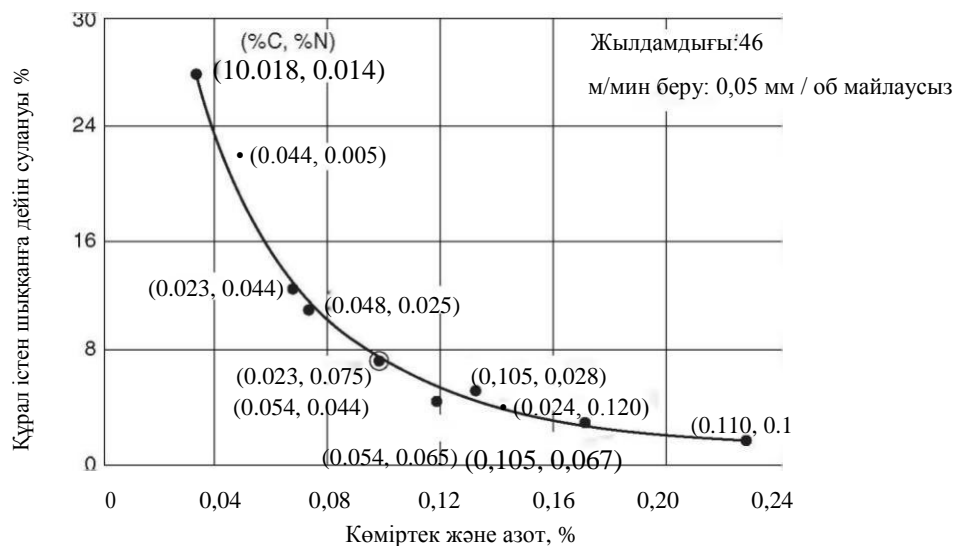
5.6 сурет. S-және SE-мойынтіректерді өңдеусіз 303 және 303 Se аустенитті болаттардың бетін салыстырмалы сынау (Типинстен).

5.1.2 Тот баспайтын болатты еркін және еріксіз механикалық өңдеу

Механикалық өңдеусіз қорытпалар механикалық қасиеттері маңыздылық дәрежесі бойынша екінші болып табылатын салаларда кездеседі. Олардың қасиеттері кесіндіні жеңілдету үшін арнайы құрастырылған. 2.1-2.3 кестелерде үш негізгі тот баспайтын қорытпалардан алынған еркін өңдеуге арналған қорытпалар санамаланған. Механикалық өңдеусіз қорытпалар қазіргі уақытта дуплекстік те, РН-ТБ-да қолжетімді емес. Duplex қорытпалары тамаша коррозияға төзімділігімен ерекшеленеді, бірақ ыстық өңдеудің бірнеше шектеулі мүмкіншіліктері бар. Екі сипатты нашарлататын еркін өңдеу элементтерін қосуды қажет етпейді. Ұқсас, рН қорытпалары жоғары беріктілік деңгейінде жақсы тұтқырлығымен ерекшеленеді, бұл тұтқырлықты нашарлататын еркін өңдеу элементтерін қосуды қажет етпейді.



5.7 сурет. Қорғасын, Те, S және Se-мойынтіректерден 18cr / 9Ni аустениттік тот баспайтын болат өндеуді - салыстыру. (Ковач пен Экенродадан [10].)



5.8 сурет. S30310 еркін өңделетін аустениттік болат үшін C және N құрамының өндеуіне әсері (құралдың істен шығуында көрсетілген) [ХМ - 5]. (Қысқаша: Eckenrod et al. [12]. АҚШ патенті 4,613,367-1986.)

5.1-кестеде үш негізгі тобы (ферритті, мартенситті және аустенитті) шеңберінде кейбір бос емес - және еркін-механикалық өндеуге ұшыраған (S-және SE-бар) қорытпалар келтірілген. АТБИ-410 (мартенсит) тот баспайтын болат және АТБИ-304 (аустениттік) негізгі топтарындағы қорытпаларды ең танымал еркін емес механикалық өндеу. Олардың тиісті еркін өндеу қорытпалары бар (5.1-кесте). Бұдан басқа, тоттануға төзімді Мо-мойынтірек қорытпалары АТБИ-444 (феррит), және АТБИ-316 (аустениттік), автоматты нұсқасы бар және одан жоғары, көміртек, АТБИ-420 (мартенситті) маркалы қорытпалардың беріктігі жоғары, және АТБИ 440С (мартенситті) маркалы мартенситті тобының автоматты нұсқасы бар маркалары жатады.

5.1-кесте Механикалық өңдеусіз негізгі қорытпалар және (S-жәнеSe-бар) туынды қорытпалар

Еркін емес өңдеу	Байланысты еркін өңдеу	
	Селен бар қорытпа	Күкірт бар қорытпа
<i>Ферритті</i>		
S43000	S43023	S43020
S44400	—	S18200 ^a
<i>Мартенситті</i>		
S41000	S41623	S41600, S41610 ^b
S42000	S42023	S42020
S44004	S44023	S44020
<i>Аустенситті</i>		
S30200/S30400	— S30323	S20300 S30300 S30310 ^b S30345 ^c S30360 ^d
S30430	—	S30330 S30431 ^e
S31600	—	S31620
S34700	S34723	S34720

^a Құрамында титан жоқ.

^b Құрамында жоғары марганец бар.

^c Құрамында алюминий бар.

^d Құрамында қорғасын бар.

^e Құрамында аз мыс бар.

Дереккөз: Металдар бойынша нұсқаулық [1], рұқсатымен.

Өңдеудегі елеулі айырмашылықтар тот баспайтын болаттан, оның ішінде еркін өңдеуге арналған қорытпалар арасында бар. Олар келесі бөлімдерде ұсынылады.

5.1.2.1 Ферритті және мартенситті қорытпалар

S43020 (АТБИ-430F) және S41600 (АТБИ-416) (2.1 және 2.2 кестелер) сияқты күйдірілген төмен көміртекті мартенситті еркін өңдеу қорытпалары тот баспайтын болат арасында өңдеу үшін ең жеңіл болып табылады [9, 17, 18]. Олардың өңдеу рейтингтері кейбіреулері тегін-көміртекті болатты өңдеуге жақын.

Төмен Cr-феррит қорытпаларын (S40500, S43000) (2.1-кесте) және күйдірілген төмен көміртекті, тік сызықты Cr-мартенсит қорытпаларын (S40300, S41000) (2.2-кесте) еркін емес өңдеу әдетте басқа еркін емес қорытпаларға карағанда оңай. S44600 (2.1-кесте) сияқты неғұрлым жоғары Cr-ферритті бос емес өңдеу қорытпалары, олардың жабысқақтығына және талшықты жаңқаларына байланысты неғұрлым төмен Cr қорытпаларын өңдеу біршама қиын.

Еркін механикалық өңдеу үшін қоспаның бар немесе жоқ болуы мартенситті қорытпалардың өңделуіне әсер етеді:

- қаттылық деңгейі
- С-құрамды
- Ni-құрамды
- фазалық тепе-теңдік, яғни мартенситті матрицадағы бос немесе 8 - феррит пайызы.

Мартенситті қорытпаларда өңдеу көміртегі құрамының ұлғаюымен азаяды: S41000 (АТБИ-410 маркасы) S42000 (АТБИ-420 маркасы) S44004 (АТБИ-440С) қорытпаларды еркін механикалық өңдеу үшін, ал S41600 (АТБИ-416) /S41623 (АТБИ-416Se) S420 (АТБИ-420F маркасы) /S42023 (АТБИ-420FSe) S44020 (АТБИ-420FSe маркасы) /S42023 (АТБИ-420FSe) S44020 (АТБИ-420FSe маркасы) (2.2 кесте) / S44023 (АТБИ-440FSe) (2.2 кесте). С неғұрлым жоғары деңгейінде тиісті еркін және еркін емес өңдеу нұсқалары арасында өңдеудегі аз айырмашылыққа беталыс байқалады. Бұл үрдіс ең алдымен осы қорытпалардағы С деңгейінің жоғарылауы кезінде болатын хромның абразивті карбидтерінің көп болуымен байланысты. Ni-мазмұны, сондай-ақ қаттылықтың күйдірілген деңгейлерін арттыру арқылы өңдеуіне әсер етеді. Сондықтан, S41400 (АТБИ-414) және S43100 (АТБИ-431) сияқты қорытпалар S41000 (АТБИ-420) (2.2-кесте) карағанда күйдірілген күйінде механикалық өңдеуге қиын болады [19, 20]. Еркін немесе 8 - феррит құрамының ұлғаюы өңдеу, құрал ресурсының жақсаруына және беттің таза өңделуіне әкеледі [3, 8, 21]. Ферриттің жоғары мөлшерін енгізу қорытпаның қаттылығын төмендетуге әкеледі.

5.1.2.2 Аустенитті қорытпалар

Тот баспайтын болаттарды өңдеу кезіндегі қиындықтар, әдетте, аустениттік тот баспайтын болаттармен байланысты. Феррит және мартенсит қорытпаларымен салыстырғанда типтік аустениттік қорытпалардың беріктігінің жоғары жылдамдығы, созылу кезіндегі аққыштық шегі (СКАШ) мен созылу кезіндегі беріктілік шегі (СКБШ) арасындағы кең шашыраңқы (сурет. 2.3), сондай-ақ жоғары соққы тұтқырлығы мен иілгіштігі. Бұл болаттардың жоғары икемділігі оларға қарсы механикалық өңдеу кезінде жұмыс істейді. Жоңқаның жеңіл бұзылуы және кескіш бетінде жиектің (КБЖ) бітелуі оңай болуы мүмкін. Аустенитті болаттардың жылу өткізгіштігі тот баспайтын болаттардың басқа үлгілерімен салыстырғанда төмен (5.2-кесте), сондықтан жылу аспаптың шетіне оңай жиналуы мүмкін. Механикалық өңдеуден өткізу кезінде рұқсат берудің бұрмалануы немесе нашар бақылауы осы болаттардың жылу кеңеюінің жоғары тарифтеріне әсер етуі мүмкін. Күйген жағдайда бұл болаттар ферромагнитті емес.

Бұл магнитті қысқыш құрылғылар пайдаланылуы мүмкін емес дегенді білдіреді. Бұл әсер комбинациясы аустениттер механикалық өңдеуге қиын көрінеді. Аустенитті тот баспайтын болаттарды өңдеу кезінде, атап айтқанда, бос емес қорытпалар сипатталады:

- Құралдар үлкен тоқырау аймағын түзуге ұмтылып ыстық болады.
- Олар тереңдеу үрдісі бар қатты чиптерді құрайды, бұл оларды жарамсыз етеді.

5.2 кесте Ферритті ТБ және көміртекті болатпен салыстырғанда аустенитті ТБ жылу өткізгіштігі

Өңделетін материал	Жылу өткізгіштік (Вт/м к)
Көміртекті болат	44
Аустенитті ТБ (S30200)	16
Ферритті ТБ (S43000)	23

••Егер құралдың қаттылығы жеткіліксіз болған жағдайда, оларда дірілдеу болады.

•• Егер беру жылдамдығы тым төмен болған жағдайда, оларды өңдеу қиынға соғады.

Тиісінше, тот баспайтын болаттарды өңдеу кезіндегі жалпы сақтық шаралары аустенитті қорытпаларды өңдеу кезінде әсіресе маңызды. Алайда суық өңдеудің орташа мөлшері аустенитті қорытпаларды өңдеудің жалпы сипаттамалары үшін қолайлы деп қарастырылуы мүмкін[21]. Суық жұмыс неғұрлым таза сынықтарға әкелетін дуктильділікті азайтады, және БҚ пайда болу үрдістері азаяды. Бұл өз кезегінде бетінің жақсаруын жақсартады, бірақ дайындаманың қаттылығы жоғарылауына байланысты құралдың қызмет ету мерзімі азаяды[20].

Көміртегі мен азот беріктендіру жылдамдығына әсер етуі және аустенитті тот баспайтын болаттардың беріктігі мен қаттылығын арттыруы мүмкін. Бір немесе екі элементтің жоғары деңгейі өңдеу деңгейінің төмендеуі [12] (сурет. 5.8). Демек, S20910 және S28200 (кесте.N [18] мөлшері төмен стандартты аустениттік қорытпаларға қарағанда өңдеу қиын. Ті және Nb қоса алғанда, берік (карбид/нитрид) қалыптау элементтері S32100 және S34700 (2.3-кесте) сияқты тот баспайтын болаттарда қолданылады, ол кристаллитаралық коррозиялық төзімділікті төмендетуі мүмкін. Алайда қосылыстар (карбид/нитрид) абразивті табиғатқа ие, бұл құралдың тозуының артуына әкеледі [22].

5.1.2.3 Екі айналдырғы қорытпалар

Дуплексті тот баспайтын болаттардың жұмыс қабілеттілігі әдетте нашар болады. Бұл олардың күйдіру беріктігінің жоғары деңгейіне байланысты шектелген. Дуплексті механикалық өңдеу кратердің қатты тозуы мен пластикалық деформация тудырады. Аз кіру бұрыштары кертiктің тозуын және қылаудың пайда болуын болдырмау үшін қолайлы. Құралды жақсы қысу және жұмысты бекіту қажет.

5.3-кесте S32950 дуплексті қорытпасының өңделуін (бұрғылау тереңдігі тұрғысынан) S20910 жоғары қысымды аустениттік қорытпамен және стандартты құрамы S 0,004% бар s31600 кәдімгі аустениттік қорытпамен және жақсартылған өңдеу нұсқасымен салыстырады (2.3-кесте). S32950 дуплексі S20910 азотының жоғары құрамы бар аустениттік қорытпаның қаттылығымен салыстырылатын қаттылық деңгейіне ие, бірақ жоғары өңдеуін қамтамасыз етеді. Дегенмен, ол S31600 қорытпасын стандартты немесе кеңейтілген өңдеу өңдеуге емес. Басқа N-мойынтіректі дуплексті қорытпалары S32950 ұқсас өңделеді деп күтілуде. Жақсартылған өңделген дуплексті қорытпалардың нұсқалары жоқ.

5.3 кесте. Салыстырмалы өңдеу бұрғы тұрғысынан ену тереңдігі (мм), Екі айналдырғы ТБ (s32900), жоғары-N аустенитті СС (S20910), стандартты аустенитті ТБ (S31600) үшін және аустенитті ТБ (S31600) төменгі азотымен жақсартылған өңдеу.

Өңделетін материал	Бұрғының ену тереңдігі (мм)
Жоғары N-аустенитті ТБ (S20910), 98 HRB	1.9-2.4
ЕкіфазалыТБ (S32950), 100 HRB	2.4-3.0
Стандартты аустениттік ТБ (S31600), 79 HRM-жүйе	3.2-3.7
N-аустениттерден төмен ТБ (S31600), 76 HRB	3.7-4.2

Металл бойынша басшылықтан бейімделген [1], (25 секунд, тарту жүктемесі 45 кг).

HRB = Рокквел шкаласы бойынша қаттылық.

5.1.2.4 РН- қорытпалар

РН-ТБ өңдеу қорытпаның қаттылығы мен түріне байланысты. Мартенситті РН-ТБ (2.7-кесте) ерітіндіде өңделген күйде жиі өңделеді. Сондықтан, тек жалғыз өңдеу қажет, содан кейін беріктіктің қалаған деңгейіне жетеді. Бұл жағдайда, салыстырмалы түрде жоғары қаттылық өңдеуді шектейді. Бұл қорытпалардың көпшілігі машина салыстырмалы немесе S30400 сияқты стандартты аустениттік қорытпадан сәл нашар. S17400 мартенситті РН-қорытпасы (2.7-кесте) жетілдірілген орындаумен шығарылады, бұл кесудің жоғары жылдамдығында өңделуге мүмкіндік береді. Мартенсит РН-ТБ, сондай-ақ механикалық өңдеуге ұшырауы мүмкін, сондықтан қатты рұқсатнамаларды сақтау үшін термоөңдеуден аулақ болады. (2.7-кесте) күйдірілген аустенитті күйде жартылай аустенитті қорытпалар жоғары беріктігі бар S30200 (2.3-кесте) сияқты қорытпаға қарағанда біршама нашар өңделеді деп күтуге болады. Жартылай аустенитті қорытпалар S35000 және S35500 (2.7-кесте), егер шыңдалған күйде жеткізілетін болса, ең жақсы өңдеуін қамтамасыз етеді. Мартенситті РН-ТБ жағдайында сияқты, өңдеу қаттылық жасымен төмендейді. Аустенитті РН-S66286 сияқты қорытпалар (2.7-кесте) машина нашар, тіпті жоғары қоспаланған аустенитті тот баспайтын болаттарға қарағанда төмен жылдамдықты талап етеді [18]. Жарылған күйдегі өңдеу одан да төмен жылдамдықты талап етеді.

5.1.3 Жақсартылған тот баспайтын болатты өңдеу

Кейбір жағдайларда ТБ-қорытпалардың құрамы өзгергенде және өндегенде өңдеу өнімділігінің оңтайлы деңгейін қамтамасыз ету үшін кең шектерде өзгертілуі мүмкін. Бұл тәсіл еркін және еркін өңделетін қорытпалар үшін қолданылады, бұл стандартты қорытпалардың талап етілетін қасиеттеріне әсер етпестен өңдеудің жақсартылған нұсқаларына әкеледі. Еркін емес қорытпалардың жетілдірілген нұсқалары тиісті стандартты қорытпаларды өңдеу өнімділігінен асып түсетін өңдеу өнімділігін қамтамасыз ететінін атап өткен жөн, бірақ соған қарамастан салыстырмалы еркін емес қорытпалардың өңделуін қамтамасыз етпейді. Алайда, басқа қасиеттер еркін механикалық өңдеу үшін тиісті қорытпалардың қасиеттерінен асып түседі. Ал еркін-механикалық өңдеуге ұшыраған қорытпалар тек феррит, мартенсит, және аустениттік қорытпаларда ғана қолжетімді, механикалық өңдеуге ұшыраған нұсқасын арттыру тот баспайтын болаттардың барлық түрлерінде қолжетімді.

5.1.4 Тот баспайтын болаттардың өңделуін бағалау

Алдыңғы талқылаудан еркін емес және берік өңделген қорытпаларды қамтитын тот баспайтын болаттардың 50-ге жуық маркалары қаралды. Олар өңдеу деңгейі бойынша топтастырылған. 5.4-кестеде эталонды материал негізінде кему тәртібінде 10-деңгейді өңдеу бойынша осы маркаларды ранжирлеу бойынша ұсыныс берілген (тазартылған және рефосфорланған қарапайым көміртекті болат АТБИ-1212). Ол сондай-ақ ұсынылған кесу жылдамдығын көрсетеді. Салыстыру үшін (Хастеллой Х) және кейбір қарапайым көміртекті және қоспаланған болат негізіндегі ыстыққа төзімді ыстыққа төзімді қорытпаның өңдеу көрсеткіштері қарастырылды.

5.4-кесте. Тот баспайтын болат және кейбір таңдалған болат қорытпалар және азаю тәртібінде кесудің байланысты жылдамдығы үшін өңдеулерді бағалау

Ранг (АТБИ-белгіленуі)	Шамамен кесу жылдамдығы (м / мин)	1212 негізінде өңделімдікті бағалай (R%)
1212 маркалы қарапайым көміртекті болаттың ресульфурленбеген және рефосфорланған, еркін пішім	60	100
Тот баспайтын болат: егер өзгесі көрсетілмесе, күйдірілген күйде		
1. Март. 416	66	110
2. 203/303/Ферр. 430F	51	85
3. Март. 420F/Ферр. 430	40	67
4. Март. 403/Март. 410	32	54
5. Жоғары төзімдіртт.431 / Март.440FSe/ Март.15-5 PH / Mart. 15-7PH-(Қолд. 450) / Март. 17-4 PH/Жартылай-ауст. PH 17-7	28	50
6. 303 Жоғары төзімді/Март.431/Март.440FSe/ Март.15-5 PH/Март. 15-7PH-(Қолд. 450)/Март. 17-4 PH/Жартылай-ауст. 17-7 PH	30	45
7. 302/304/304L/Пайромет,Жартылай-ауст.АМ350PH/ Жартылай-ауст. АМ355 PH/Март. 440А/Март. 440С	24	40
8. 309/310/316/316L/317/317L/317LM/321/347/ Ферр.446/Март. 13-8MPH	21	36
9. 302"В"/304"В"/Март. Қолд. 455 PH/Ауст. Пайромет А286 PH/Дуплекс 7-Мо Plus	18	30
10. Мп-ауст.: Нитронды 40,50,60/316"В"	13	22
Ыстыққа төзімді қорытпа: Хастеллой Х	10	17
<i>Көміртегі мен қорытпаның қарапайым болаттары: күйдірілген күйде</i>		
1020,1015	43	72
1050	32	54
1141	48	81
L 1412	102	170
52100 (шарик тәріздес болат)	24	40

Falcon Metals Group [23], ВНСА [24] және Карпентерден [25] жиналған деректер.

5.2 Тот баспайтын болаттарды өңдеудің дәстүрлі процестері

Бұл бөлімде тот баспайтын болат өңдеу әр түрлі өңдеу процестерін пайдалана отырып өңделеді. Өңдеу параметрлері, аспап геометриясы және т.б. арнайы қарастырылады. Кесу құралының материалдары және майлау-суыту сұйықтықтары бұрын 4-тарауда қаралды.

5.2.1 Өзгеру

Дәстүрлі, жоғары жылдамдықты болат ЖЖБ-құралдар ТБ-тың бұрылмалы қызметіне арналған, бірақ карбидтер мен карбид-жабынды кенестер де жоюдың жоғары тарифтерін жүзеге асыру үшін қолданылған. Құрал материалын таңдау өңдеу параметрлеріне, өнімділігіне және қолжетімді қуаты мен білдектің қаттылығына байланысты.

5.9-суретте тот баспайтын болаттан токарлық өңдеуге арналған бір лезвиялы құрал-сайманның ұсынылған геометриясы көрсетілген, ал 5.5-кестеде ЖЖБ және қатты балқитын құралдарды пайдалана отырып, ТБ токарды өңдеуге арналған кесу жылдамдығы мен кесу тереңдігі келтірілген. Тым жоғары жылдамдық құралдың ұштығының жануына әкелуі мүмкін, ал тым төмен жылдамдық БҚ пайда болуына әкелуі мүмкін. Майлау-суыту сұйықтықтарын пайдалану қажет.

5.6 кестеге сәйкес оң жағымен көлбеу аспаптар аз жылу шығарады және таза бетімен еркін кесіледі. Үлкен жылу ағынын, сондай-ақ қатты орнатуды қамтамасыз ету үшін мүмкіндігінше үлкен құралды таңдау пайдалы. Аспапты тиісті қолдауды қамтамасыз ету үшін саңылаудың алдыңғы бұрышы $7-10^\circ$ құрайтын минимумға теңестірілуі тиіс.

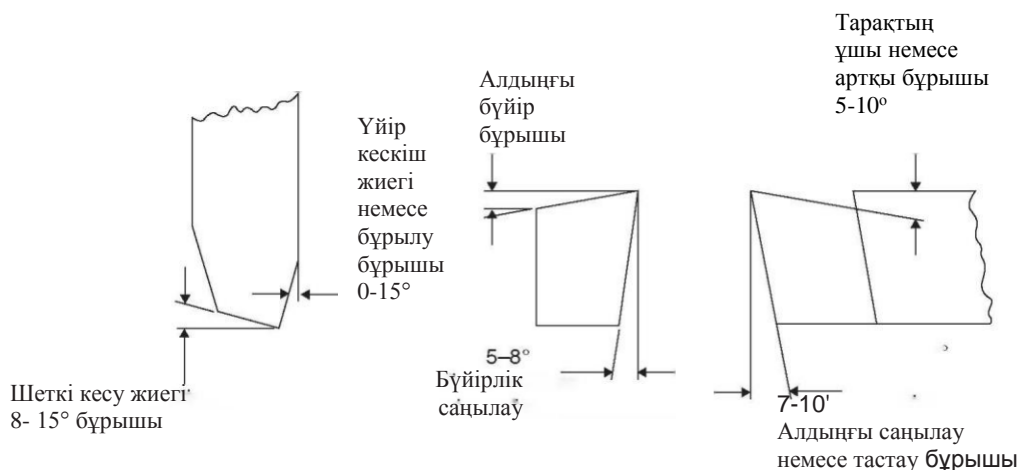
Олардың қаттылығына және жұмыс сипаттамаларына байланысты-қатайту, аустенитті тот баспайтын болат сынықтарды бақылау үшін $10-15^\circ$ борт қырғыштары бар шайырлы ЖЖБ-құралдарын талап етеді және $5-6^\circ$ (5.6-кесте) тастаудың ұлғайтылған борт бұрыштарын талап ете алады, сүрту және оқшауландырылған жұмыстарды болдырмау-қатайту. Еркін емес тот баспайтын болат, әдетте, өте қиын болуы мүмкін ұзын талшықты жоңқаларды шығарады. Бұл қиындықты чип бұйралағыштармен немесе чиптермен ажырату арқылы жоюға болады, бұл ұзын чиптерді басқарумен қатар, құрал бетіндегі үйкелісті азайтады. Тот баспайтын болатты өңдеусіз өңдейтін крепостерлер немесе бұрағыштар қорытпаларды меншікті өңдеу үшін қажет тереңдіктен аспауы керек.

Егер чипті немесе чипті құралға жинап алу мүмкін болмаса, тік қырлы бұрышы болу ұсынылады.

Карбидті құралдарды да пайдалануға болады. Олар ЖЖБ құралдарға қарағанда жоғары жылдамдықта өңдеуге мүмкіндік береді. Алайда, олар аспаптар мен дайындамалардың қаттылығына үлкен назар аударуды талап етеді; одан тыс үзілген кесінділер болдырмау үшін қажет. Жабынды карбидтердің жылдамдығы карбидтерге қарағанда шамамен 30% жоғары.

5.2.1.1 Пішінді өңдеу және кесу

Пішіндер, борттық төгінділер мен саңылаудың бұрыштары бұрылуға 1° және 5° арасында болуы тиіс. Кесу тереңірек және соғұрлым бұрыштар көп. Жеткілікті тереңдіктер және берілістер қатты проблемаларды болдырмау үшін жер беті жұмыстарын болдырмауға мүмкіндік беруі тиіс. Бұл көп қабатты операцияларда бастапқы және таза кесуге қатысты.



5.9-сурет. Тот баспайтын болат өңдеуге арналған бір жақты жону құралдарының ұсынылған геометриясы

5.5 кесте. Бір жиекті өңдеуге арналған құралды пайдалана отырып тот баспайтын болат үшін ұсынылатын жылдамдық және беру

Тот баспайтын болат қорытпасы	Өңдеу және БҚ	Өрескел-Р немесе әрлеу-F	Жылдамдық (м/мин)		Құрал / кодтар		
			ЖЖБ	Карбидтер	ЖЖБ	Карбидтер	
			Дәнекерленген кірістірілген				
<i>Соғылған мартенситті болат</i>							
Еркін өңдеу	Күйд.-160	R	45	150	170	M2/M3	C6/C7
Cr		F	52	170	190	M2/M3	C6/C7
С төмен / төменірек	Күйд.-175	R	33	120	145	M2/M3	C6/C7
Cr		F	40	145	175	M2/M3	C6/C7
С төмен / төменірек	ШЖО-300	R	20	80	100	M2/M3	C6/C7
Cr		F	25	98	120	M2/M3	C6/C7
С биік / биіктеу	Күйд.-240	R	20	95	105	M42/T15	C6/C7
Cr		F	24	105	120	M42/T15	C6/C7
С биік / биіктеу	ШЖО-320	R	15	67	80	M42/T15	C6/C7
Cr		F	21	80	90	M42/T15	C6/C7
<i>Соғылған ферритті болат</i>							
Еркін өңдеу	Күйд.-160	R	45	150	165	M2/M3	C6/C7
Cr		F	50	165	185	M2/M3	C6/C7
12-17% Cr сорттар	Күйд.-160	R	33	137	155	M42/T15	C6/C7
		F	40	155	180	M42/T15	C6/C7
<i>Соғылған аустенитті болат</i>							
Еркін өңдеу	Күйд.-160	R	31	125	140	M2/M3	C2/C3
		F	36	140	155	M2/M3	C2/C3
Басқа сорттар (304, 316, 321 и т. д.)	Күйд.-160	R	23	85	95	M42/T15	C2/C3
		F	28	97	112	M42/T15	C2/C3
<i>Соғылған дуплекс</i>	Күйд.-230	R	24	53	55	M42/T15	C2/C3
		F	30	60	70	M42/T15	C2/C3
<i>Құйма жазығы Cr</i>	ҚЖЖ-210	R	21	83	100	M42/T15	C2/C3
		F	27	105	130	M42/T15	C2/C3
<i>Құйма аустенитті</i>	Күйд.-270	R	15	68	83	M42/T15	C2/C3
		F	20	83	100	M42/T15	C2/C3

Аршу (P): Кесу тереңдігі= 3.8мм,беру= 0,38мм/об.

Өңдеу (F): Кесу тереңдігі= 0,75мм,беру= 0,2мм/об.

Бұл шарттар машинаның күші мен мүмкіншіліктеріне байланысты.

Өңдеу: Күйд. =жанған; ҚЖЖ =қалпына келтірілді және жіберілді; Q&T =шыңдалған және орташа. НВ = Бриннель бойынша қаттылық; НТББ = тезкескішболат.

Жылдамдықтар: Карбидтер үшін жабындысыз қарағанда шамамен30%жоғары.құрал коды,5.2-бөлімді қараңыз.

Көзі: ВТББа-wwwберілген.бТББа.org.uk/topics, php?Article=194-2007 / 2012 [24].

Беру құрал-сайманның дайындамаға түсуіне қарай тұрақты түрде сақталуы тиіс. Терең немесе күрделі формаларды қалыптастыру үшін баяу жылдамдықты ескеру қажет. Майлау-суығу сұйықтығының ағыны тұрақты, үлкен ағын көлемі тот баспайтын болаттан қайрау кезінде кесетін жиектерге үздіксіз жеткізілетініне кепілдік беру үшін мұқият бақылануы тиіс.

5.6-кесте ТБ үшін қолданылатын бір жүзді жону құралдары үшін ұсынылған кесу бұрыштары

Материал	ЖЖБ		Карбид				
	АТБ	АББ	Дәнекерлі		Бір реттік қолданылған		
			АТБ	АББ	АТБ	АББ	
Мартенситті	160 НВ	0°	10°/15°	0°	6°	0°/-5°	-5°
Мартенситті	300 НВ	0°	15°	0°	6°	-5°	-5°
Еркін өңделетін сорт	160 НВ	5°	8°	0°	6°	-5°	-5°
Соғылған ферритті және құйылған жазық Ст	160 НВ	5°	8°	0°	6°	0°	5°
Соғылған және құйылған аустенит	165 НВ	0°	10°/15°	0°	6°	0°	5°

АТБ = артқа тартылу бұрышы;
 АББ = алдыңғы бүйір бұрышы
 ҚҚЖАБ = қосалқы кескіш жиектегі артқы бұрыш = 5°
 БАБ = басты артқы бұрышы = 5–6°
 ЖКҚБ = жоспардағы кескіштің қосалқы бұрышы = 5°

} Бұл бұрыштар барлық жағдайларда қолданылады

Төбенің дөңгелектеу радиусы = 0.5–3 мм. Бұрылатын бөлшекке сәйкес мүмкіндігінше үлкен радиусты пайдаланыңыз

БҚ = Бринель бойынша қаттылық;

ЖЖБ = жоғары жылдамдықтағы болат

Дереккөз: МНВ-М16-дан берілді [1].

Өшіру, әдетте, 10° мен 15° арасында ұштарын ысыру бұрышын талап етеді. Бұл бұрышты құралдың ауытқуын болдырмау үшін, шамамен 5 ° дейін үлкен диаметрлі дайындамаларда кесу тереңдігінің ұлғаюына қарай азайту керек. Ортасының үстіндегі биіктігі 3 мм-ге жуық болуы тиіс.

5.2.2 Бұрғылау

Бұрғылау кезінде материал бұрғылау ұштығының ортасынан (қашаудың жиегінен) сыртқы кескіш жиегіне механикалық итеріледі. Бұл итеруші әсер бұрғылау нүктесінде материалдың қатаюына, өз кезегінде, бұрғы тозуын және тот баспайтын болаттан қатты дақтардың пайда болуына әкеп соғады. Бұл беріктендіру әсері, әсіресе 304 және 316 сияқты аустениттік маркалар үшін тот баспайтын болаттарды бұрғылаумен байланысты проблеманың негізгі себебі болып табылады. Көп жағдайда болат суық өңдеуден кейін прогрессивті қатады, алайда металл толық күйдірілуі (жұмсаруы) мүмкін, онда терең немесе кіші диаметрлі тесіктерді бұрғылау қажет, демек бұрғылау қабілеті ішінара жақсарайды [24]. Алайда, екінші жағынан, аустениттік қорытпалардың жоғары қаттылығы (немесе созылуы) бетінің жақсы тазалығын қамтамасыз ететіні белгілі. Сондықтан осы қорытпалардың қаттылық деңгейі бұрғылау мен үстіңгі қабаттың жақсы үйлесімін қамтамасыз етуі мүмкін. Шамадан тыс қаттылық, екінші жағынан, бөлшектерді өңдеу кезінде құралдың тозуын арттыра алады.

Конустық пішінді штамптардың көмегімен ортасында қалыптау айтарлықтай жергілікті нығыздауға әкелуі мүмкін, бұл бұрғының кіруін қиындатады. Бұл бұрғылау ұшының ауытқуына немесе ауытқуына, бетінің шынылауынан және / немесе бұрғылау ұшының нығыздалуына әкелуі мүмкін, бұл бұрғыштың сынуына әкеледі, әсіресе шағын тесіктерді бұрғылау орындарында. Егер тесікті бастау үшін белгі қажет болса, үшбұрышты пирамида бар перфоратормен ашық маркер қолданған дұрыс.

Жоңқасы тесіктен еркін кетуі керек. Тесікте жоңқаның жиналуы тесік қабырғасының кедір-бұдырлығына, ал қатты бітелген жағдайда бұрғылау сынуына әкеледі. Терең тесік бұрғылау кезінде, бұрғылау ең аз двеллмен тартылуы тиіс:

Бұрғылау реті	Максималды бұрғылау тереңдігі
Бірінші теріске шығару	(3-4)х бұрғылау диаметрі
Екінші теріске шығару	2 хбұрғылау диаметрі
Үшінші тарту және	1 х бұрғылау диаметрі
Кейінгі бөлу	

5.2.2.1 Бұрғылау кезіндегі маңызды кеңестер

Төменде тот баспайтын болат бұрғылауды жақсартатын кейбір бағыттаушы желілер бар.

1. Тот баспайтын болат түрін, машина өнімділігін және пайдаланылатын суыту сұйықтығын ескере отырып, ең қолайлы бұрғышты таңдаңыз.

2. Ең қысқа бұрғышты таңдап, оның дұрыс бекітілуіне және тегістелуіне көз жеткізіңіз. Жұмыс берік бекітілуі тиіс. Қажет болса, бұрғылау құралдарын пайдаланыңыз.

3. Тым баяу және тым жылдам бұрғылау жылдамдығы бұрғыштың сынуына әкелуі мүмкін. Айта кету керек, диаметрі аз бұрғылау өте баяу жылдамдықта пайдаланылмауы керек.

4. Әсіресе аустениттік қорытпалармен кідірістерден аулақ болу керек. Бұрғыны қалдыру тесік түбінің шынылануына әкеледі. Кіру және қайта кіру толық жылдамдықпен және беру жылдамдығымен орындалуы тиіс.

5. Дұрыс беру бұрғылау мерзімі мен өнімділігін арттырады.

6. Ауыр қоректену және төмен жылдамдықтар тот баспайтын болат механикалық өңдеуге ұшырататын басты проблема болып табылады жұмысты азайту үшін қажет болуы мүмкін.

7. Тот баспайтын болаттарды бұрғылауға арналған беріліс қорабына қарағанда басқышсыз дискілерге артықшылық беріледі.

8. Терең тесіктерді бұрғылау кезінде металға бұрғышты бұрған кезде беру жылдамдығы мен жылдамдығын азайтыңыз; алайда тесіктің диаметрінен үш есе артық тереңдікте бұрын айтылғандай азайту талап етілмейді.

9. Бұрғылардың өткір және дұрыс тегістелуі, сондай-ақ кез келген тозудың жойылуын қадағалауы маңызды.

10. Тесік тесіктерін бұрғылау кезінде тесіктің саңырау жағынан шыққан кезде тесіктің сынуын болдырмау үшін тірек пластинасын пайдалану керек.

11. Суытушы сұйықтықтарды немесе майлау материалдарын пайдаланған кезде бұрғылау нүктесіне бағытталған мол беруді қамтамасыз етіңіз.

5.7-кестеде тот баспайтын болаттардың әртүрлі маркаларын бұрғылау үшін ұсынылатын жылдамдық және беру келтірілген. Стандартты ЖЖБ бұрғылары тот баспайтын болат бұрғылау үшін қолайлы болса да, олар пайдалану кезінде майысу мен сынуды азайту үшін қысқа болуы керек. Қатты қорытпа бұрғылары да жоғары өнімділікке қол жеткізу үшін пайдаланылуы мүмкін.

5.10 сурет тот баспайтын болаттарды бұрғылау үшін пайдаланылатын ЖЖБ-бұрғылау құралының дұрыс геометриясын бейнелейді. Нүктенің бұрышы 140° болуы керек, бірақ аз бұрыштар (120°) тот баспайтын болатты еркін өңдеу үшін пайдаланылуы мүмкін. Бұрғылау нүктесінің тозуы нүктенің үлкен бұрышын пайдалану керек екенін көрсетеді. Жиіктер арасындағы саңылау 8-16° болуы тиіс. Ол келесі кестеде көрсетілгендей бұрғылау диаметрінің ұлғаюымен азаяды.

5.7 кесте. ЖЖБ бұрғышымен тот баспайтын болаттарды бұрғылау үшін ұсынылатын жылдамдық және беру

Тот баспайтын болат қорытпасы	Өңдеу және НВ	Жылдамдық (м/мин)	Тесік диаметрі үшін (мм /об) беру							ЖЖБ-класс
			1.6 мм	3 мм	6 мм	12 мм	20 мм	25 мм	50 мм	
<i>Соғылған мартенситті</i>										
Механикалық емес	Күйд.-160	36	0,025	0,075	0,15	0,255	0,33	0,4	0,635	M1, M7, M10
С төмен /	Күйд.-175	18	0,025	0,075	0,125	0,205	0,3	0,4	0,61	M1, M7, M10
Сг төменірек										
С төмен /	ШЖО-300	17	0,025	0,075	0,1	0,175	0,255	0,3	0,455	M1, M7, M10
Сг төменірек										
С жоғары / жоғарылау Сг	Күйд.-240	15	0,025	0,05	0,075	0,125	0,2	0,255	0,38	M42, T15
С жоғары / жоғарылау Сг	ШЖО-320	12	0,025	0,05	0,05	0,1	0,15	0,2	0,3	M42, T15
<i>Соғылған ферритті</i>										
Механикалық емес	Күйд.-160	40	0,25	0,075	0,15	0,255	0,355	0,455	0,635	M1, M7, M10
12-17% Сг сорттар	Күйд.-160	20	0,25	0,05	0,1	0,175	0,255	0,3	0,455	M42, T15
<i>Соғылған аустенитті</i>										
Механикалық емес	Күйд.-160	30	0,25	0,075	0,15	0,255	0,355	0,455	0,635	M1, M7, M10
Басқа маркалар (304, 316, 321 және т.б)	Күйд.-160	17	0,25	0,05	0,1	0,175	0,255	0,3	0,455	M42, T15
<i>Соғылған дуплекс</i>	Күйд.-230	14	0,25	0,05	0,075	0,125	0,2	0,255	0,38	M42, T15
<i>Құйылған тегіс Сг</i>	ҚЖЖ-210	14	0,25	0,05	0,075	0,125	0,2	0,255	0,33	M42, T15
<i>Құйылған аустенит</i>	Күйд.-170	10	0,25	0,05	0,075	0,15	0,2	0,255	0,28	M42, T15

"ЖЖБ класы 6.2-бөлімді қараңыз

Күйд. = күйдірілген; ШЖО = өтелген және шыңдалған; n & t = нормаланған және шыңдалған. БҚ = Бринель бойынша қаттылық; ЖЖБ = тезкескіш болат.

Алынды: ВТББА-www.bTbBa.org.uk / topics.php? article = 194-2007 / 2012 [24].



5.10 сурет. Тот баспайтын болатты бұрғылауға арналған ЖЖБ-бұрғылау геометриясы

Бұрғы диаметрі (мм)	3	6	12	20	25 және одан көп
Артқы бұрыш (°)	16	14	12	10	8

Бұрғыштың шамадан тыс күші, өткір жиегіне қарамастан, дұрыс бұрғыламау немесе бұрғыштың сынуы бұрғыштың ұшының рельефті жеткіліксіз екенін көрсетеді. Керісінше, егер бұрғылау қазу үрдісі болса, онда азайған рельеф жақсы болуы мүмкін.

Нүктедегі төсемнің қалыңдығы (әдетте бұрғылау ұзындығы бойынша ұлғаятын), әдетте, бұрғы диаметрінің 1/8-ге жуан төсемдер бұрғылаудың беріктігі мен қаттылығын жақсартатын шағын диаметрлерден басқа, бұрғы диаметрінің жанында болуы тиіс. Алайда, бұл жоңқаның ағынын кедергі келтіруі мүмкін. Керісінше, жұқа кенеппен, бұрғы қаттылығы аз болса да, жоңқаның ағыны жеңіл; сонымен қатар, тесікті бастау оңай. Жұқа кенеп беру күшін, тесік түбін жылу бөлу және жұмыс беріктігін азайтады; басқаша айтқанда, бұл бұрғылауды арттырады.

Кейбір жұмыстар 8-10 жағынан терең тесіктерді талап етеді. Мұндай жағдайларда қысқа қысқыш мүмкін емес және иінді біліктің бұрғысы ретінде белгілі арнайы бұрғылар пайдалы болуы мүмкін. Бұл бұрғылар бастапқыда иінді біліктерде және шатундарда май тесіктерін бұрғылауға арналған, бірақ терең тесіктерді бұрғылауда кеңінен қолданылады. Олар өте ауыр торға және спиральдың үлкен бұрышына ие, бұл жоңқаны жоюға көмектеседі. Әдетте, олар өткір бұрыштары бар ажарлау шеңберінің (АЖ) көмегімен орындалатын тісті зығыр тәрізді қалыңдатылады. ЖЖБ-бұрғылау қайрау кезінде ең жақсы нәтижелер үшін астықтың орташа мөлшері, жұмсақ сорты, құрғақ тегістеу орындалады.

Бұрғыштың жарылуын болдырмау үшін жанудан және шыңдаудан аулақ болу керек. Екі еріндері симметриялы қайралуы тиіс, яғни олар бұрғылаудың орталық сызығына бірдей бұрыштары және ұзындығы бірдей болуы тиіс. Жоңқаның қалыңдығы мен өлшемдерінің қоспасы бұрғыштың симметриялы қайран еместігін көрсетеді.

5.2.3 Қашау

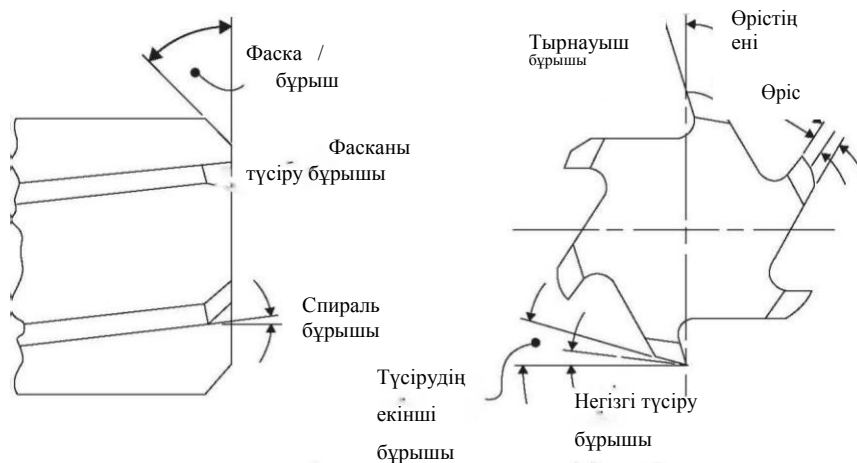
Тот баспайтын болаттарды жаюға байланысты қиындықтар көбінесе алдыңғы операциялардан, әсіресе бос емес аустенитті қорытпалармен байланысты. Мысалы, алдыңғы бұрғылау операцияларында беру тым жеңіл болса, тесік қабырғасы қатты нығыздалып, кеңейткішті кесуге қарсы тұра алады. Сондай-ақ, алдыңғы операциядан жана берік қабатты кесу үшін оң кесуді орындауға болатын материал жеткілікті болуы өте маңызды.

5.2.3.1 Тот баспайтын болатты қашаудың құралдық геометриясы

Тік немесе спиральді жырасы бар ұңғылардың конструкциялары цилиндрлік немесе конустық тесіктер үшін пайдаланылады. Спиральді жыралар тот баспайтын болат үшін қолайлы, терең тесіктерден жоңқаларды жақсы алып тастай алады және тұзу жырамен жаймалар қарағанда жақсы жабын шығаруға қабілетті. Сағат тілі бойынша құралды қалыпты айналдыру үшін оң спираль құралдары сол спираль құралдарына қарағанда еркін кеседі, бірақ тесікке өздігінен беру үрдісі бар. Сол қолмен жасалған спиральді құралдар өзін-өзі жүктеуге бейімделмейтіндіктен, бұл берілу жылдамдығын дәл бақылау қажет болған кезде пайдалы болуы мүмкін.

5.11 сурет. ЖЖБ спиральді арықтары бар қанат жаюын бейнелейді. Көлбеу бұрыштары 3° - ден 8° - ге дейін құрауы тиіс, және де үлкен бұрыштары аустениттік тот баспайтын болат (304, 316 және т.б.) маркаларына сәйкес келеді. Қор ені ЖЖБ-аспаптар үшін 0,13-0,38 мм және қатты балқитын ұңғылар үшін 0,05-0,125 мм болуы тиіс.

Өрістің ені қашау диаметрінің ұлғаюымен осы диапазонда артады. Бастапқы рельефтің жеткіліксіз бұрышы немесе тым кең бет діріл тудыруы мүмкін. 5.8-кесте ЖЖБ құралының ұсынылатын геометриясын және тот баспайтын болаттарды өңдеуге арналған қатты балқитын кеңейткіштерді бейнелейді.



5.11 сурет. Тот баспайтын болатты өңдеуге арналған ЖЖБ-спиральді-бунақты білдек.

5.8 сурет. Ұсынылған ЖЖБ геометриясы және қатты қорытпалар

Геометриялық ерекшеліктері	Белгісі	
	ЖЖБ-кеңейткіш	Карбид-кеңейткіш
Негізгі (жұмыс аймағы.) шығару бұрышы (°)	4-5	6-12
Өрістің (жердің) ені (мм)	0,13-0,38	0,05-0,125 ^с
Фаска бұрышы (°)	30-35	2
Фасканың ұзындығы (мм)	1,5	4,8
Фасканың түсіру бұрышы (°)	4-5	Н/Д
Көлбеу бұрышы (жұмыс айм.) (°)	3-8	7-10
Спираль бұрышы (°)	0-10	5-8

Бос емес ферритті және аустенитті маркалар мен қатты балқитын ұңғыларды пайдалана отырып, РН маркаларын қашау үшін өріс ені 0,125-0,25 мм дейін ұлғайтылуы тиіс. Дерек көзі: МНВ-М16, жасалды [1].

5.2.3.2 Кеңейту параметрлері

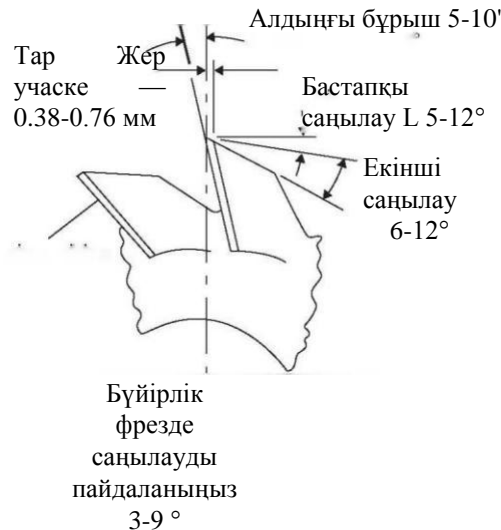
ЖЖБ және қатты қорытпаларды пайдалана отырып тот баспайтын болаттарды қашау үшін ұсынылған жылдамдық және беру 5.8-кестеде көрсетілген. Тегіс өндеу бұрғылаумен салыстырғанда айтарлықтай төмен жылдамдықты талап етеді. Соңғы ашылған тесіктер бетінің тазалығын жақсарту үшін 5.7-кестеде ұсынылған жылдамдық 50% - ға, ал беру 25% - ға азайтылуы тиіс. Өрескел тесіктер немесе өрт сөндіру құралдары әдетте пайдаланылады тым жоғары жылдамдық. Тегіс беттерді алу үшін майлау-суыту сұйықтығы да таза болуы тиіс. Егер машина циркуляциялық жүйемен жабдықталған болса, онда майлау-суыту сұйықтығында қалқып, бетінің сапасын бұзатын сынықтар мен өте ұсақ жоңқалар пайда болады.

5.2.4 Фрезерлеу

ЖЖБ-фрезалар тот баспайтын болаттан фрезерлеу үшін қолданылады, бірақ қатты қорытпа пластиналары бар құралдар, әсіресе өндеу қиын қорытпалар үшін пайдаланылуы мүмкін. Ең тегіс өндеуге жоғары жылдамдықта жұмыс істейтін спиральды немесе спиральды, әсіресе ені 20 мм астам кесу үшін ЖЖБ-кескіштердің көмегімен қол жеткізіледі. Ірі тістері бар кескіштер (ауыр жағдайларда жұмыс істеу үшін) аз кернеу жағдайында жұмыс істейді және ұсақ тістері бар кескіштерге қарағанда жоғары жылдамдыққа жол береді (аз жүктеме үшін). Ауыр фрезерлік жұмыстар үшін 45 ° бұрышпен сол жақ спиральды жоғары өнімді кескіш қолайлы. Слябты кеңінен жұқарту, мұндай кескіштер тегіс әрлеу және болдырмау үшін жасайды.

Тот баспайтын болаттан терең ойықтарды фрезерлеу, кейде кең жоңқалардың дірілдеу және сыну проблемасын білдіреді; мұндай қиындықтар шахмат ретімен тіс кескіштің көмегімен жойылады. Тот баспайтын болаттардың шеткі фрезерлеу беріктігі жоғары болғандықтан қатты балқитын шеткі фрезаны пайдалана отырып ұсынылады.

5.12 сурет. Бүйірлік фрезалардың ұсынылған геометриясын суреттейді. Шамадан тыс діріл жарақтың, құрылғылардың және станоктың қаттылығы жеткілікті болған жағдайда кескіштің жеткіліксіз саңылауы бар екенін көрсетеді. Әдетте кесу тым үлкен тырнақшаны немесе мүмкін тым жоғары кесу жылдамдығын көрсетеді.



5.12 сурет. Тот баспайтын болат өңдеу үшін ұсынылатын фрез геометриясы

5.9-кестеде ЖЖБ немесе қатты балқитын фрезерлерді пайдалана отырып, тоттанбайтын болаттардың шеткі шеткі фрезерлеу кезінде жылдамдықтар мен берулер көрсетілген. Егер беру өте жеңіл болса, құрал жұмысын тоқтатады; егер ол тым ауыр болса, құралдың қызмет ету мерзімі қысқартылады. Бастапқы өңдеу үшін қолданылатындарға қарағанда ауырлау және баяу жылдамдықпен жүзеге асырылады.

Фрезерлеу басталғаннан кейін оны тоқтатпау керек, егер қажет болмаса, құрал қайта іске қосылған кезде кесіледі. Шегініп, қайтадан бастау қажет болған жағдайда, құрал люфт және сақтандырғыштардың кесуден қауіптілігін жою үшін қайтадан басталар алдында дайындаманың артында екі немесе үш айналым созылуы тиіс.

5.2.5 Созу

Созу- бұл металды сыртынан да, ішінен де тез шығарудың тез тәсілі және тығыз төзімділікпен жұмысты қамтамасыз етеді.

Созуға байланысты машиналар екіге бөлінеді: тік және көлденең. Олардың кез келгені итеру немесе созу үшін пайдаланылуы мүмкін. Ішкі созу үшін дұрыс тесік немесе кеңейтілген тесік жеткілікті. Сыртқы (үстіңгі) созу үшін алдын ала өңдеу операцияларын қажет етпейді. Жоңқаның тістері арасында жинақталмауы өте маңызды, әйтпесе тартқыштың зақымдануы жоңқаның орауынан туындауы мүмкін. Зақымдану, сондай-ақ тістің шамадан тыс локализацияланған жүктемеге әкеледі, егер созылу дұрыс түзетілмеген болса, орын алуы мүмкін.

Тот баспайтын болаттан жасалған тартпалар әдетте ЖЖБ немесе ҰМ-ЖЖБ (Ұнтақты металлургия-жоғары жылдамдықтағы болат) жасалған. Шын мәнінде, созу қара, жартылай фабрикатты және түпкілікті дәл кесуді қамтуы мүмкін (сурет 5.13 а). Созғышты жобалау кезінде өндіруші тістің ең жоғары беріктігін және сынуға арналған тістердің арасындағы жеткілікті қалтаны қамтамасыз етеді. Созу түтікше болған кезде оны Созу тегістеу машинасында ғана қайта қайрау немесе ұсақтау үшін дайындаушыға қайтару керек.

Ішкі брошюралар үшін артқа жылжу бұрышы минималды болуы керек (2° артық емес және 5° артық емес) (5.13б-сурет). Тым көп артқы бұрышынан созылу мөлшерін азайту үшін созу мерзімін қысқартады. Кез келген саңылаулар кесу жиектерінде жұмыс бетін қағады. Сондықтан ұқыпты қарау өте маңызды.

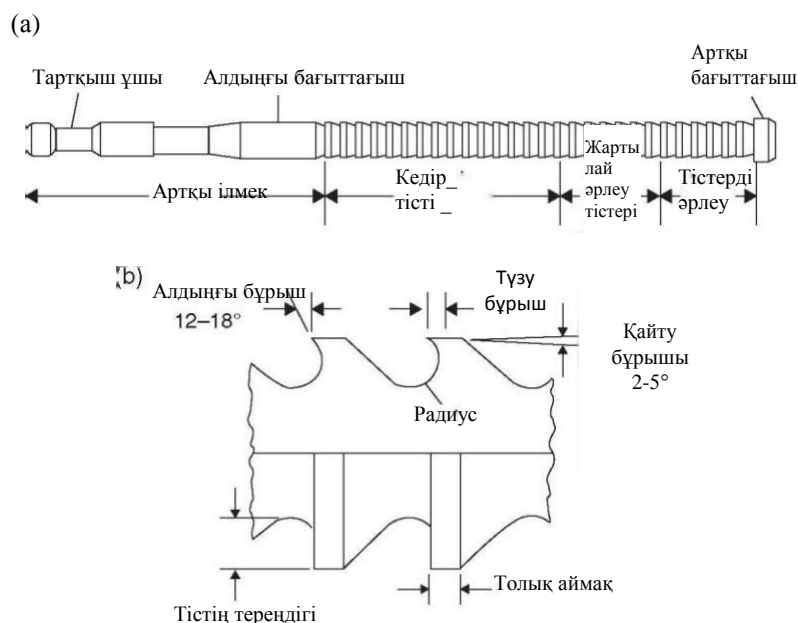
5.10-кестеде ЖЖБ-Micro-Melt ұнтақты құралдарын пайдалана отырып, еркін және еркін өңделген тот баспайтын болаттан жасалған болаттарды берудің номиналды жылдамдығы мен созу жылдамдығы келтірілген (Ak Steel Corp компаниясының Carpenter сауда маркасы.). Жоғары қаттылық қажет болғанда, кесектер алдымен созылып, содан кейін термоөңделуі тиіс. Эмульгацияланатын сұйықтықтар емес, парафин майымен араластырылған сульфохлорланған майлар ұсынылады.

5.9 кесте. ЖЖБ және қатты қорытпалы құралдарды пайдалана отырып, деформацияланатын тот баспайтын болаттарды өңдеуге арналған бүйірлік фрезерлеу номиналдық параметрлері

Тот баспайтын болат қорытпасы	Өңдеу және БҚ	Жылдамдық(м/ мин)	Кескіш диаметрі үшін (мм) / тіс				Құрал-саймандық материал ЖЖБ: М2 М7 Карбидтер: С2
			6 мм	13 мм	19 мм	25-50 мм	
<i>Соғылған мартенситті</i>							
Механикалық емес сорттар	Күйд.-160	30	0,03	0,06	0,11	0,12	М2, М7
		90	0,03	0,06	0,13	0,17	С6
С төмен / төменірек Сг	Күйд.-175	34	0,05	0,075	0,12	0,15	М2, М7
		107	0,025	0,05	0,12	0,15	С6
С төмен / төменірек Сг	ШЖО-300	27	0,025	0,05	0,12	0,15	М2, М7
		82	0,025	0,05	0,12	0,15	С6
С жоғары /жоғарылау Сг	Күйд.-240	23	0,025	0,05	0,12	0,15	М2, М7
		72	0,025	0,05	0,12	0,15	С6
С жоғары /жоғарылау Сг	ШЖО-300	20	0,025	0,05	0,12	0,15	М2, М7
		68	0,025	0,05	0,12	0,15	С6
<i>Соғылған феррит</i>							
Механикалық емес сорттар	Күйд.-160	44	0,03	0,06	0,1	0,12	М2, М7
		122	0,03	0,06	0,13	0,17	С6
12-17% Сг сорттар	Күйд.-160	32	0,05	0,075	0,13	0,15	М2, М7
		100	0,025	0,05	0,1	0,15	С6
<i>Соғылған аустениттік</i>							
Механикалық емес сорттар	Күйд.-160	32	0,03	0,06	0,11	0,14	М2, М7
		100	0,03	0,06	0,11	0,14	С7
Басқалары бағаланады (304, 321 және т. б.)	Күйд.-160	24	0,05	0,075	0,13	0,15	М2, М7
		82	0,025	0,05	0,075	0,13	С6
<i>Соғылған дуплекс</i>	Күйд.-230	23	0,05	0,075	0,13	0,15	М2, М7
		79	0,025	0,05	0,075	0,13	С2
<i>Деформацияланатын рН-</i>	Күйд.-210	22	0,025	0,05	0,07	0,1	М2, М7
		62	0,025	0,05	0,07	0,12	С2

Күйд. = күйдірілген; ШЖО = өтелген және шындалған; n & t = нормаланған және шындалған.

Жылдамдықтар мен берудің оңтайлы мәндері өңдеу шарттарына байланысты жоғары немесе төмен болуы мүмкін. БҚ = Бриннель бойынша қаттылық; ЖЖБ = тезкескіш болат. Ақпарат көзі: Алынды: МНВ-М16 [1].



5.13 сурет. Тот баспайтын болат өңдеуге арналған ішкі созу (а) және ұсынылған геометрия (Б).

5.2.6 Тегістеу

Корунд (Al_2O_3) доңғалақтар жиі тот баспайтын болат үшін қолданылады. Дегенмен, кремний карбидінің (SiC) дөңгелектері арнайы қолдану үшін де пайдаланылуы мүмкін, бірақ дөңгелектердің қызмет ету мерзімі азайған. Н-дан L-ге дейінгі қаттылығы орташа тығыздық дискілер әдетте тот баспайтын болаттарды тегістеу үшін таңдалады. Қарапайым 46, 54, немесе 60 қолданылатын құмның өлшемдері; нақты құмдарды дәл мәреге жету үшін пайдалануға болады. Шыныдан және резеңкеден жасалған дөңгелектер негізінен пайдаланылады. Басқа металл материалдарды тегістеу үшін бұрын пайдаланылған ОУ ТБ-ны тегістеу үшін пайдалануға болмайды, өйткені ТБ бөлшектері ТБ-ға кіріктірілуі мүмкін, бұл оның коррозияға төзімділігіне әсер етеді.

Жазық тегістеу үшін 1500-2000 м/мин. Жалпақ тегістеу үшін үстелдің жылдамдығы 15-30 м/мин, берік тегістеу үшін 0,05 мм/сағ дейін, ал өңдеуге 0,013 мм/сағ, ал көлденең берілісі 1,3-13 мм/пс құрайды.

Тот баспайтын болаттардың төмен термиялық өткізгіштігіне байланысты тиімді хладагент қажет. Кәдімгі суда еритін сұйықтықтар, әдетте, ауыр сульфо-хлорланған майлардан төмен ГВ-ны көздейді.

5.3 Тот баспайтын болаттан жасалған өңделген беттік жабындар

Тот баспайтын болат табиғи түрде болуы үшін құрастырылады - таза беті қоршаған ортаға әсер етеді, ол бай хром тотығы қабатын қалыптастыру үшін жеткілікті оттегіні қамтамасыз ете алады. Тот баспайтын болаттан жасалған өңделген бөлшектердің барынша коррозияға төзімділігіне қол жеткізу үшін, олар май, май, ұсақ металл бөлшектер мен өңделген беттен саусақ іздерін жою үшін химиялық тазартылуы тиіс. Ол үшін әдетте орташа цехты майсыздандыру ерітіндісі жеткілікті. Тазалау (өңдеу) кейін кейбір жағдайларда қышқылдық пассивтеуді ескеру керек [26].

5.10 кесте. ЖЖБ-созғышты пайдалана отырып, еркін және еркін емес өңделген тот баспайтын болаттардың тартқыштарының номиналдық параметрлері

Тот баспайтын болат қорытпасы	Жылдамдық (м/мин)	Ыстыққа төзімді -биіктік (мм/зуб)	ЖЖБ созу	
<i>Мартенсит қорытпалары</i>				
Еркін емес 410	8	0,1	М42 немесе Г1 ұсынылатын созғыштар	
Еркін өңдеу 416	10	0,1		
Еркін емес 420	6	0,075		
Еркін өңдеу 420F	8	0,075		
Еркін емес 431	6	0,075		
Еркін емес 440А, 440В	6	0,05		
Еркін емес 440С	4	0,05		
Еркін өңдеу 440F	6	0,05		
<i>Ферритті қорытпалар</i>				
Еркін емес 430	8	0,075		
Еркін өңдеу 430F	12	0,1		
Еркін емес 443	8	0,075		
<i>Аустенитті қорытпалар</i>				
Еркін емес 302, 304, 316	6	0,1		
Еркін өңдеу 303	8	0,085		
Еркін өңдеу 203	8	0,085		
Еркін емес 321, 347	6	0,075		
Еркін емес S24110	4	0,075		
Еркін емес S24904	4	0,075		
Еркін емес S20910	4	0,075		
<i>Екі айналдырғы қорытпа:</i>				
жасытылған,	5	0,075		
<i>РН-қорытпалар</i>				
Мартенсит - Тапсырыс 455-күйдіру	3	0,05		
Тапсырыс 455-	4	0,05		
Температурасы 350-355 жартылай аустенитті	4	0,05		
Пайрометр 350-355	3	0,05		

* Аталған жылдамдық пен арналар консервати

Аталған жылдамдықтар мен арналар консервативті ұсыныстар болып табылады.

Жоғары мәндер өңдеу шарттарына байланысты болуы мүмкін.

БҚ = Бринелл бойынша қаттылық; ЖЖБ = тезексіз болат. Дереккөз: МТПБ-16 [1] және Карпентерден [25] жасалды.

5.3.1 Химиялық тазалау (Өңдеу)

ТБ-беттерін химиялық тазалау немесе өңдеу қажет болса, осы беттерді пассивациялау мен термоөңдеуді қамтамасыз ету үшін өңдеуден кейін тікелей орындалуы тиіс маңызды операция болып табылады. Мартенситті тот баспайтын болаттан немесе рН-қорытпалардан жасалған бөлшектер жоғары температураларда ерітіндімен шындалуы немесе өңделуі мүмкін. Майлау-суыту сұйықтықтарының кез келген іздерін жою үшін бөлшектер майсыздандырғышпен мұқият тазартылуы тиіс. Өңдеу кезінде бөлшектер бетінде тот дақтарын құруы мүмкін кесетін құралдан темірдің ұсақ бөлшектерін жинай алады. Өңдеу әдетте азот және еріту қышқылдарының қоспаларын қамтиды, ал дәстүрлі түрде пассивация тек азот қышқылын пайдалана отырып жүргізілген. Өңдеу үшін дайын бөлшектерді азот-Нf өңдеу ерітіндісіне (10% азот, 2% Нf) немесе жылы күйде немесе қоршаған ортаның температурасы кезінде салады.

5.3.2 Пассивтеу

Пассивтеу процесі кейде айқындалады, бірақ оның қажеттілігі бар ма жоқ па екендігі ескеру өте маңызды. Бөлшектер тиісінше өңдеумен тазартылған соң, тұрақты, берік, біртекті және пассивті болып табылатын өте жұқа, селдір қабықты қалыптастыру үшін, ауада тазартылған беттің қабатқа әсер ету жолымен тез арада пассивтелуі керек. Ол ТББ-бетке оны коррозияға төзімді ететін инертті металдармен байланысты пассивті қасиет береді, бұл оксидті қабық ауада зақымданған кезде де және ерітіндіге батырылған кезде де өздігінен қайта қалпына келеді, алайда бұл пассивтеу химиялық күшейтілген болуы мүмкін.

Жақсы тазарту пассивті ваннаның ластануын болдырмайды және беттік жарқылға немесе қатты улануға немесе қараңғылыққа әкелуі мүмкін реакциялардың алдын алады. Тот баспайтын болаттарға арналған қышқылдық пассивацияның дәстүрлі әдістері 5.11-кестеде келтірілген.

5.12-кестеде суреттелген, өңдеусіз тот баспайтын болаттарды пассивациялау үшін сипатталған А-А-А әдісі (сілтілі-қышқылды-сілтілі), пассивациялайтын ваннаны алып тастаған қоспаларды еркін өңдеуден кейін қалған шұңқырлардағы қалдық ұстағыштардың салдарынан пайда болуы мүмкін коррозияны болдырмайды.

Пассивация қақты жою әдісі емес. Тоттың немесе ыстық бояудың кез-келген бөлігі пассивациялау алдында өңделген болуы керек. Тот баспайтын болаттарды пассивтеу кезінде мыналарды ескеру қажет:

- Ванналарды үнемі ауыстырып отыру керек, бұл кенеттен шабуылға әкелуі мүмкін пассивті потенциалды жоғалтпайды.

5.11-кесте Тот баспайтын болаттардың азот қышқылы пассивациясы

Тот баспайтын болат маркалары	Пассивация практикасы
<ul style="list-style-type: none">• Ст-Ni маркалы (серия 300)• 440 сериясын қоспағанда, Ст 17% немесе одан көп дәрежелері• ТүзуСт (12-14% Ст)• Жоғары С / жоғарылау Ст (сериясы 440)• рН- тот баспайтын болат	20% об. Азот қышқылы 49-60 ° С 30 мин ішінде 20% об. Азот қышқылы + 229 / л натрий дихроматы 49/60 ° С, 30 минут ішінде немесе 50% 49/60 °С, 30 минут ішінде

Азотты қышқылмен пассивациялау алдында бөлшектер мұқият тазартылып, майсыздандырылуы тиіс. Бөлшектерді қышқылға және натрий дихроматына батқаннан кейін жуу керек.

Берілген: АСМҚ А967 [26].

5.12 кесте Еркін өңделген қорытпалардың сілтілі-қышқылды-сілтілі пассивациясы

С АТБИ типті 420F, 430F, 440F, 203, 182-FM және Карпенгер жобасы 70+, түрлері 303 және 416 қоса алғандағы өңделмеген тот баспайтын болат

Сілтілі

1. 5 мас. % натрий гидроксиді 71/82°С кезінде, 30 мин бойы
2. Сумен шайыңыз

Қышқыл

1. 20% көлемді азот қышқылы + 22 г / л натрий дихроматы 49/60 °С кезінде, 30 мин бойы
2. Сумен шайыңыз

Сілтілі

1. 5 мас. % натрий гидроксиді 71/80 °С кезінде, 30 мин ішінде
2. Сумен шайыңыз

Азотты қышқылмен пассивациялау алдында бөлшектер мұқият тазартылып, майсыздандырылуы тиіс. Бейімделді: АСМҚ А967 [26].

* Ваннаны 5.12-кестеде көрсетілген тиісті температураларда ұстап тұру керек, өйткені төменгі температура жергілікті әсерге әкелуі мүмкін

* Көміртекті немесе азотталған бөлшектерді пассивациялауға болмайды, өйткені олардың коррозиялық төзімділігі ваннаға шабуыл жасауы мүмкін

* Жоғары көміртекті мартенситті тот баспайтын болат жеткілікті коррозияға төзімділікті қамтамасыз ету үшін шындалған күйде болуы тиіс

* Пассивациялық ванналарға қолданылатын су хлоридтердің салыстырмалы түрде төмен болуы тиіс (<50 ppm).

Пассивация лимон қышқылымен азотты қышқылға балама ретінде. Лимон қышқылының пассивациясы да азот қышқылының баламасы ретінде қарастырылуы мүмкін, өйткені екеуі де пассивацияға қажетті тотығу жағдайларын қамтамасыз етеді. Лимон қышқылы аз қауіпті әдіс болып табылады және "NOx" түгін шығару және пайдаланылған қышқылды жою тұрғысынан экологиялық артықшылықтары бар. Пассивацияға арналған 4-10% концентрациясы бар лимон қышқылының ерітінділері АСМҚ А967 стандартында көрсетілген. Лимон қышқылымен пассивациямен өңдеу бірнеше ТБ класына пайдалы. Олар 5.13-кестеде бейнеленген.

5.13 кесте. Тот баспайтын болатты лимон қышқылымен пассивациялау

Тот баспайтын болат маркалары Пассивация тәжірибесі

Түрлер 316 / 316L 10 мас.% лимон қышқылы, 66 °С, 30 минут

Жоба 70 + түрлер 316 / 316L

Түрлері 304 / 304L

Жоба 70 + түрлер 304 / 304L

тапсырыспен дайындалған Flo 302

HQ

Түр 305

Азот-күшейтілген түрі 430

аустениттер

17Cr-4Ni

Жоба 70 + Қолданушылық 630

15 Cr-5 Ni

Жоба 70 + 15 Cr-5 Ni

Қолданушылық 465

Түр 409 КБ	10 мас. % лимон қышқылы, 82/93 °С, 30 мин; пассивация мен сумен жуғаннан кейін 5 мас-да бейтараптандырады % натрий гидроксиді, 77 °с, 30 мин
Түр 303	10 мас. % лимон қышқылы, 66 °с, 30 мин; пассивация мен сумен жуғаннан кейін 5 мас-да бейтараптандырады % натрий гидроксиді,
Жоба 70 + түр 303	77 °с, 30 мин 10 мас. % лимон қышқылы, 49/54 °С, 30 мин; пассивация мен сумен
Түр 410	жуғаннан кейін 5 мас-да бейтараптандырады % натрий гидроксиді,
Түр 420	
Кесу Рәсімі	77 °с, 30 мин
Түр 409 Сб-ФМ	10 мас% лимон қышқылы (натрий гид-роксидінің көмегімен рН 5 дейін жеткізілген), 43°с, 30 минут; пассивациялаудан және сумен шаюдан кейін 5 мас.% натрий гидроксиді, 77 °с, 30 минут
Түр 416	
Жоба 70 + түрі 416	

Бөлшектер лимон қышқылының пассивация алдында мұқият тазартылып, майсыздандырылуы тиіс. Бөлшектерді қышқыл және натрий ванналарына батқаннан кейін сумен жуу қажет. Алынды: АСМҚ А967 [26].

Әдебиетке сілтеме

- [1] Editor Committee of AMJ International (1989) *Metals Handbook Machining* 19th edn, Vol. 16, AMJ International Materials Park, OH.
- [2] Drab, B. (2010) Making Stainless Steel More Machinable, Schmolz & Bickenbach, USA, [http://www.Productionmachining.com/articles/making-Stainless-more-machinable\(2\)](http://www.Productionmachining.com/articles/making-Stainless-more-machinable(2)) (accessed April 24, 2015).
- [3] Richardson, F.M. (1967) A decade of progress in machinability, finishing and forming, *Met. Prog.* Aug.: 85-86.
- [4] Kovach, C.W. (1975) *Sulfide Inclusions and Machinability of steel*, American Society of Metals (ASM), pp. 459-479.
- [5] Sparre, C. (1972) Stainless free-cutting Steel, *Wire*, April: 56-60.
- [6] Kovach, C.W., A. Moskowitz (1969) Effects of manganese and sulfur on the machinability of martensitic Stainless Steels, *Trans. Met. Soc., AIME*, 245, 2157-2164.
- [7] Henthorne, M. (1970) Corrosion of resulfurized free-machining Stainless Steels, *Corrosion*, 26 (12), 511-528.
- [8] Clarke, W.C. (1964) Which free-machining Stainless?, *Metalwork. Prod.* 9, 68-71.
- [9] Tipnis, V.A. (1971) Machining of Stainless Steels, *Wire*, Aug: 153-161.
- [10] Kovach, C.W., Eckenrod, J.J. (1971) Free-machining austenitic Stainless Steels. *13th Mechanical Working and Steel Processing Conference, American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, 1971*, pp.300-325.
- [11] Tipnis, V.A. (1976) Methods of making Stainless Steels having improved machinability. US Patent 3,933,480.
- [12] Eckenrod, J.J., Kenneth E.P., Geoffrey O.R., William E.R. (1986) Low carbon plus nitrogen free -machining austenitic Stainless Steel. US Patent 4, 613,367.
- [13] McClaymonds, N.L. (1964) Machinability of leaded Stainless, *Met. Prog.*, Aug.: 166-168.
- [14] Clarke, W.C. (1964) Which free-machining chromium Stainless? *Metalwork. Prod.* May: 43-45.
- [15] Kimura, A. (1986) Super AUSTMACH Stainless Steel 304 BF with Bismuth, *Bull. Bismuth InEθ*. 1-5.
- [16] Ono, K.M. УнВьйда, T. Kawano. M., N. Shibata (1983) Development of leaded free-machining austenitic Stainless Steel, *Denki Seiko*, 54 (4), 265-274.
- [17] Committee of Stainless Steel Producers, АТБИ (1975) *Free-Machining Stainless Steels*, American Iron and Steel Institute.
- [18] Carpenter Technology Corporation (1985) *Guide to Machining Stainless Steels and other Speciality Metals*, Carpenter Technology Corporation, 1985.
- [19] Blott, D.M. (1977) *Machining Wrought and Cast Stainless Steels, HB of Stainless Steels*, McGraw-Hill, pp. 24-2-24-30.
- [20] Tipnis, V.A. (1974) Stainless Steel having improved machinability. US Patent 3, 846, 186.
- [21] Divine, Jr., C.A. (1968) What to consider in choosing an alloy, *Met. Prog.*, Feb.: 19-23.
- [22] Wright, P.K., Вьичи, A. (1981) Wear mechanism that dominate tool life in machining, *J. Appl. Metalwork*. 1: 15-23.
- [23] Falcon Metals Group, <http://www.falcon-metals.com> (accessed June 15, 2015).
- [24] British Stainless Steel Association (BSSA) www.bssa.org.uk/topics.php.?article=194-2007/2012 (accessed April 24, 2015).
- [25] Carpenter www.Cartech.Com/techarticles.aspx?id=1578 (accessed April 24, 2015).
- [26] АИМК А967. (2003) *Standard Specification of Chemical Preparation Treatments for Stainless Steel Parts*.

6

Ыстыққа төзімді қорытпаларды дәстүрлі өңдеу

6.1 Ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу аспектілері

Ыстыққа төзімді әдетте нашар өңдеу ретінде жіктеледі. Жоғары өңдеу құнының көп бөлігі кесудің рұқсат етілген жылдамдығы болат үшін пайдаланылатын 5-10%-ды құрайды. Тот баспайтын болаттан жасалған Fe негізіндегі қорытпалар Әдетте өңдеу мен термоөңдеудің ұқсас жағдайларында Ni негізіндегі супер қорытпадан және Co негізіндегі қорытпадан оңай өңделеді. Алайда, Fe негізіндегі қорытпалар жиі арнайы геометрияны талап ететін жоңқамен тежеу мәселелері бар. Ni және Co-база негізіндегі қорытпалар өңдеудің жоғары құнына ықпал ететін бірнеше жалпы сипаттамаларға ие.

Барлық ыстыққа төзімді қорытпалар, тұтастай алғанда, жоғары температураларда жоғары беріктікке ие және кесу кезінде сегменттелген жоңқаны шығарады, осылайша жоғары динамикалық күштер жасайды. Осы қорытпалардың жоғары температуралы беріктігін арттыру оларды кесу температурасында қатты және қатты етеді, осылайша өңдеу кезінде кесетін жиекте күш-жігерді арттырады және, демек, құрал жиегінің сынуына немесе деформациясына ықпал етеді. Нашар жылу өткізгіштік және жоғары қаттылық өңдеу кезінде жоғары температураны жасайды. Ыстыққа төзімді қорытпалар берік және берік сипаттамалары кесудің үлкен тереңдіктерінде және кесетін жиектің өте абразивті ортасын кеседі.

Тиісінше, ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу кезінде қатты балқитын ендірімелерде жиектің беріктігі жақсы болуы тиіс, ал жабынды жағу кезінде абляцияға және пластикалық деформацияға жақсы төзімділікті қамтамасыз ету үшін төсемнің төсемге жақсы адгезиясы қамтамасыз етілуі тиіс. Әдетте, өткір жиектері мен оң тырмасы бар аспаптық ендірімелерді пайдалану керек.

Өңдеу әрекеті материалды алдын ала өңдеуге байланысты. Ыстыққа төзімді қорытпаларды жұмсақ күйінде өңдеу кезінде (термиялық өңдеуге дейін) бөлінетін жылу және кесу күші әдеттегі болатқа қарағанда едәуір жоғары. Жоғары температураларда ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу кезінде кішкентай интерметалл бөлшектер шөгеді, бұл кристалл құрылымдағы қозғалысқа кедергі келтіреді және нәтижесінде материал өзгерту және өңдеу қиын болады. Қатайғаннан кейін кесу кезінде пайда болатын жылу мөлшері соншалықты жоғары, қаттылық пен абразияға төзімділігі жоғары сорттар ғана тиімді. Сонымен қатар, өңделген бет механикалық қатаюға ұшырайды, демек, бұл кескіш кию өте маңызды мәселе болып табылады.

Тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу: дәстүрлі және дәстүрлі емес материалдар, бірінші басылым. Ал Хельми. Юсеф.

Қорытынды жасай отырып, ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу сипаттамаларына әсер ететін негізгі факторлар олар:

- аустенитті матрицаны көрсету, өңдеу кезінде тез нығыздауға мүмкіндік береді;
- жоғары температураларда беріктігін сақтайды, мұнда тиімді тез кескіш болат (ТКБ) - құралдар жұмсарады;
- жылжыту үшін әдетте жоғары динамикалық беріктікке ие;
- микроқұрылымда қатты карбидтер бар, олар абразивті;
- төмен жылу өткізгіштігі бар, ол кесу жиегінің жоғары температурасына әкеледі;
- қатты үздіксіз жоңқаны қалыптастырады, бұл БҚ-ға әкеледі;
- олардың микроқұрылымдарында абразивті карбидтерді өндіру;
- атмосфералық жағдайларда кесу құралдарының материалдарымен жауап береді.

3-тарауда айтылғандай, ыстыққа төзімді қорытпалар, қорытпалардың кең спектрін білдіреді. Қорытпалардың жалпы айдарларында осындай кең таралуында барлық класс үшін кесу бойынша ұсыныстардың бір жиынтығын келтіру мүмкін емес, және өңдеу тәртібі қорытпалардың бір тобы шегінде де қатты өзгеруі мүмкін. Шын мәнінде, бір материалдың термоөңдеу шарттарына байланысты өңдеу бойынша көптеген ұсыныстары болуы мүмкін.

Ыстыққа төзімді қорытпаларды шикізат ретінде құйылған, қақталған (шыбықтар мен дайындамалар) және пісірілген (ұнтақ металлургия (ҰМ) түрінде ұсынылуы мүмкін. Қақталған материалдар әдетте құймаларға қарағанда аз мөлшерде астық алады. Соғулар, әдетте, жоғары беріктікке, жақсартылған түйіршіктілікке және құйма ыстыққа төзімді қорытпалармен салыстырғанда бұзуға қарсы тұр. Олар, дегенмен, өңдеу кезінде құралдың деформациясына үлкен бейім абразивті болып табылады. Аздаған жылдамдық пен ұлғайтылған беру арқылы өңдеу беріктендіру және кесу жиектерін кесу әлеуетінің төмендеуіне әкеледі. Құюда қарама-қарсы қолданылады, яғни жоғары жылдамдықтарды қолдану және төмен беру пайдалы болуы мүмкін. Құю әдістерінен өндірілген компоненттер қаттылықпен біріктірілген сырғымаға тамаша беріктікті көрсетеді. Бұл сипаттамалар жоңқаның нашар сегменттеу салдарынан өңдеу проблемаларын жасайды. Құю, әдетте, қатты апельсин қабықтарында дақ беті бар, бұл өңдеуді неғұрлым күрделі етеді және кірістірме кесіндісінің тозуын тудыруы мүмкін. Бұл соғуға қарағанда қатты және тозуға төзімді маркалы ендірілгенді пайдалануды талап етеді. Құйма қорытпалары аз беріктікті талап ететін бөлшектерге арналған және турбина қалақтары сияқты жақын пішінді (ДБФ) бөлшектерді өндіру үшін жарамды.

Неғұрлым күрделі және ДБФ компоненттер ҰМ технологиясын пайдалана отырып жасалуы мүмкін. Осы өндірістік бағыттың компоненттері өте төмен өңделеді және өте абразивті.

6.2 Ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу рейтингі

4-тарауда айтылғандай, кесумен өңдеулерді бағалаудың негізгі өлшемдерінің бірі құралдың қызмет ету мерзімі және оған байланысты кесу жылдамдығы болды, ол құралдың қызмет ету мерзімін тоқтатады. Өңдеу тиімділігін бағалаудың тағы бір маңызды өлшемі тұтынылатын қуат болды. Жақсы өңдеу материалы төмен энергия жұмсауды талап етеді, демек, төмен арнайы кесу энергиясы.

6.2.1 Құрал ресурсы және кесудің номиналды жылдамдығы негізінде өңдеу

Әдетте, токарлық өңдеу процесі әрқашан материалдардың өңделуін анықтау үшін таңдалады. Metcut [1] ұсынылған кесудің номиналды жылдамдығы мен құрал ресурсының негізінде ыстыққа төзімді қорытпалардың көп мөлшерін өңдеу 6.1-кестеде кему тәртібінде келтірілген. Тиісінше, бұл ыстыққа төзімді қорытпалар 13 түрлі санаттарға бөлінеді, олар үш негізгі топқа жіктеледі, атап айтқанда: жеңіл, орташа және қиын өңделетін топтар.

Өңдеуде жеңіл топ 6.1-кестеде көрсетілген бес санаттан тұрады. Бұл Fe (Fe-C1, Fe-C2, Fe-C3) негізіндегі құйылған санаттар және (Fe-W) жабыны бар Fe негізіндегі санат, сондай-ақ (Ni-W5) жабыны бар (TD-никель-90% Ni және 2% ThO₂) негізіндегі санат. Құралдар тобы-к-машиналар да 5-санаттан тұрады. Бұл деформацияланатын пі-негіздің санаты (Ni-W4, Ni-W1, Ni-W2) және Ni-негіздің құйма санаты (Ni-C1), сондай-ақ деформацияланатын Co-негіздің санаты (Co-W). Бұл деформацияланатын пі-негізді санаты (Ni-W4, Ni-W1, Ni-W2) және пі-негізді құйма санаты (Ni-C1), сондай-ақ деформацияланатын Co-негіздің санаты (Co-W).

Механикалық легирленген (МЛ) ыстыққа төзімді қорытпалардың нұсқалары 3.4-кестеде көрсетілген. Y₂O₃ өңдеу дәрежесіне (ӨД) елеулі әсер етпейді. Бұл қорытпалар осындай құрам мен қаттылықтың жағылған қорытпалары үшін сәйкес келетін тәжірибені пайдалана отырып, механикалық өңдеуге ұшырауға болады. 6.1-кестеде көрсетілгендей, Ni MA 754 (277 BHN) негізіндегі қорытпа Инконель 718 және Fe A-286 негізіндегі қорытпаға қарағанда анағұрлым төмен өңделеді. Fe MA 956 негізіндегі қорытпа (270 BHN), MA 754 сияқты, MA 754 қарағанда өңделеді. M 6000 (450 ұңғыма) никель қорытпасынан өңдеу, 700 Юдиметке ұқсайды. 6.2-кестеде механикалық қоспаланған нұсқаларды токарлық өңдеу үшін номиналды жылдамдық және беру келтірілген, ал 3.4-кестеде олардың ӨД көрсетілген.

Жоғарыда айтылғандардың ішінен ыстыққа төзімді қорытпалардың өңдеуінде ең жеңіл болып A-286, Discaloy, N-155 және т.б. сияқты темір негізіндегі қорытпалар, сондай-ақ TD-никель қорытпасы табылады, ал пі негізіндегі және in-100, Rene 77, AiResiEӨ 13, 215 және NASA Co-W-Re сияқты CO негізіндегі ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу қиынға түседі (6.1-кесте).

Осыған ұқсас, АТБИ және басқалары [1-4] көптеген металдар мен қорытпаларды сынаған және кесу жылдамдығын АТБИ-1212 эталондық қорытпасын өңдеу кезінде алынған кесу жылдамдығымен, сол кесу жағдайларында қайта күкірт және қайта фосфорланған әдеттегі көміртекті болатпен салыстырған. АТБИ-1212 1 балл алды. 1-ден жоғары есептегі материалдар жеңіл өңделеді, екінші жағынан 1-ден кем есептегі материалдар өңдеу қиынға соғады (6.3-кесте). Мұндай жағдайларда материалдың қаттылығын (мысалы, BHN-да) қосу ұсынылады, өйткені материалдың қаттылығы ӨД айтарлықтай әсер етеді. Осылайша, егер H₁ қаттылық мәні бар белгілі бір ыстыққа төзімді қорытпаның ӨД1 деген бағасы бар болса, H₁-ден H₂-ге дейін өзінің қаттылық көрсеткішін арттырған белгілі бір металл өңдеу немесе термоөңдеу алды; содан кейін ол ӨД 2 алады, оны қалай бағалауға болады:

$$MR2 = \frac{H_1}{H_2} \times MR1$$

6.1-кесте. Ұсынылған кесу жылдамдығының негізінде (қатты балқитын аспаптар үшін) кему тәртібінде ыстыққа төзімді қорытпаларды жіктеу және топтау

Санаты және тобы	БҚС Кесу жылдамдығы (м / мин)	БҚС (карбидтер)	Ыстыққа төзімді қорытпа
<i>Технологиялық</i>			
1 Fe-C1 [Күйд.]	135-185	76	АСМҚ А 297 НС класы
2 Fe-C2 [Күйд.немесеN]	135-185	60	АСМҚА 351 НК30, НК 40, НТ30 ТD-Никель
3 Ni-W5 [R]	180-200	60	3.3 кестеде көретілген басқа түрлері
4 Fe-C3 [C]	160-200	53	
5 Fe-W [EӨнемесеEӨ-Вы]	180-320	30-58	A-286, Дискалой, [Инколой 800, 801, 802], N-155, V-57, W-545, 16-25-6, 19-9DL, Инколой МА 956 (ҰМ)
<i>Орташа өңделетін</i>			
6 Ni-W4 [Күйд. немесе EӨ, Cd Вы]	140-310	15-35	
7 Ni-W1[Күйд.немесеEӨ, EӨ-Вы]	200-400	15-30	[Хастеллоу В, В-2, (С-276), G, S, X],
8 Co-W [EӨ, EӨ-Вы]	180-320	15-27	[Инколой 804, 825], [Инконель 600, 601],
9 Ni-C1 [C немесе C-Ұс]	200-375	14-26	Огнеупор 26, Юдимет 630
10 Ni-W2 [EӨ, EӨ-Вы]	225-400	15-24	Хейнс 263, Инколой 901, [Инконель 617, 625, 702, 706, 718, 722, X-750, 751], M252, [Нимоник 75, 80], Уэсполой, Инконель МА 754 (ҰМ)
<i>Ауыр өңделетін</i>			
11 Co-C [C немесе Қ-Ұс]	220-425	9-18	
12 Ni-C2 [C немесе Қ-Ұс]	250-425	9-18	AiResiEӨ 213, [Хейнс 25 (L605), 188], J-1570, [MAR-M905, M918], S-816, V-36
13 Ni-W3 [EӨ, EӨ-Вы]	275-475	9-15	[Хастеллой В, С], С АСМҚ А297 (ГВ, НХ маркалы), АСМҚ стандарты, А608 (классы ХW50, Астролой, IN-106, Инконель 700, [Нимоник 90, 95], [Рене 41, 63], [Юдимет 500, 700,
<i>Технологиялық</i>			
1 Fe-C1 [Күйд.]	135-185	76	
2 Fe-C2 [Күйд. немесе N]	135-185	60	
3 Ni-W5 [R]	180-200	60	
4 Fe-C3 [C]	160-200	53	
5 Fe-W [EӨ немесе EӨ-Вы]	180-320	30-58	
<i>Орташа өңделетін</i>			
6 Ni-W4 [Күйд. немесе EӨ, Ст или Вы]	140-310	15-35	[AiResiEӨ 13, 215], [HS 6, 21, 25, 31 (X-40)], [MAR-M302, M322, M509, NASA Co-W-Re, W1-52, X-45
7 Ni-W1[Күйд. немесе EӨ, EӨ-Вы]	200-400	15-30	В-1900, IN-100, [IN-738, 792], [Инконель 713 С, 718], M252, [MAR-M200, M246,
8 Co-W [ӨЕ, ӨЕ-Ұс]	180-320	15-27	[Рене 77, 95], Юнитемп 1753, Инконель МА 6000 (ҰМ)
9 Ni-C1 [C немесе Қ-Ұс]	200-375	14-26	
10 Ni-W2 [ӨЕ, ӨЕ-Ұс]	225-400	15-24	
<i>Ауыр өңделетін</i>			
11 Co-C [C немесе Қ-Ұс]	220-425	9-18	
12 Ni-C2 [C немесе Қ-Ұс]	250-425	9-18	
13 Ni-W3 [ӨЕ, ӨЕ-Ұс]	275-475	9-15	

ӨЕ: өңделген ерітінді, Күйд.: күйдірілген, ҚК: қалыпқа келтірілген, Қ: құйылған, Д: деформацияланған, Қ-Ұс: құйылған және ұсталған, ӨЕ-Ұс: өңделген және ұсталған ерітінді, И: илемделген және Ст: суық тартылған. Берілген: Metcut Associates [1].

6.3-кестеге сілтеме жасай отырып, Инконель 901 200-ден 300 БҚС-на дейін қаттылықты арттыратын өңдеу алды. Өңдеуге дейін MR1 = 0,2 рейтингі болды, содан кейін MR2 жаңа рейтингі болады:

$$MR2 = \frac{200}{300} \times 0.2 = 0.13$$

6.1 және 6.3 кестелері негізінде сурет. 6.1 ең жиі қолданылатын АТБИ-1212 эталондық материал ретінде қарастырылатын $m_r = 1$ ыстыққа төзімді қорытпалары көрсетілген

6.2-кесте номиналды жылдамдық және механикалық легирленген ыстыққа төзімді қорытпаларды қайрау үшін беру

Қорытпа	БҚСКесу тереңдігі (mm)	ЖЖБ-		Ауыспалы қатты балқитын			
		v (m / min)	F (мм/айн)	Құрал (мл / мин) материал	F (мм/об)	Құрал	
<i>Fe-базалық</i>							
Инколой	270 Iрі 6.5	12-15	0,75	T-15, M-36	50-75	0,5	C-6
M1956	Әрлеу 1.3	18-21	0,25	T-15, M-36	75-90	0,2	C-8
<i>Ni-базалы</i>							
Инколой	277 Iрі 6.5	3-6	0,25	T-15, M-36	12-18	0,25	C-2
МА 754	Әрлеу 1.3	5-6	0,20	T-15, M-36	15-30	0,20	C-2
Инконель	450 Iрі 2.0	3-4	0,10	T-15, M-36	9-18	0,2	C-2
МА 6000	Әрлеу 0.2	3-4	0,12	T-15, M-36	9-18	0,12	C-2

Алынды: Metcut [1].

6.3-кесте. Әдетте сульфурацияланған және қайталама фосфорланған қарапайым көміртекті болаттың АТБИ-1212 негізіндегі қайталап пайдаланылатын ыстыққа төзімді қорытпаларды токарлық өңдеу кезінде өңдеу дәрежесі (ӨД), ЖЖБ құрал материалы

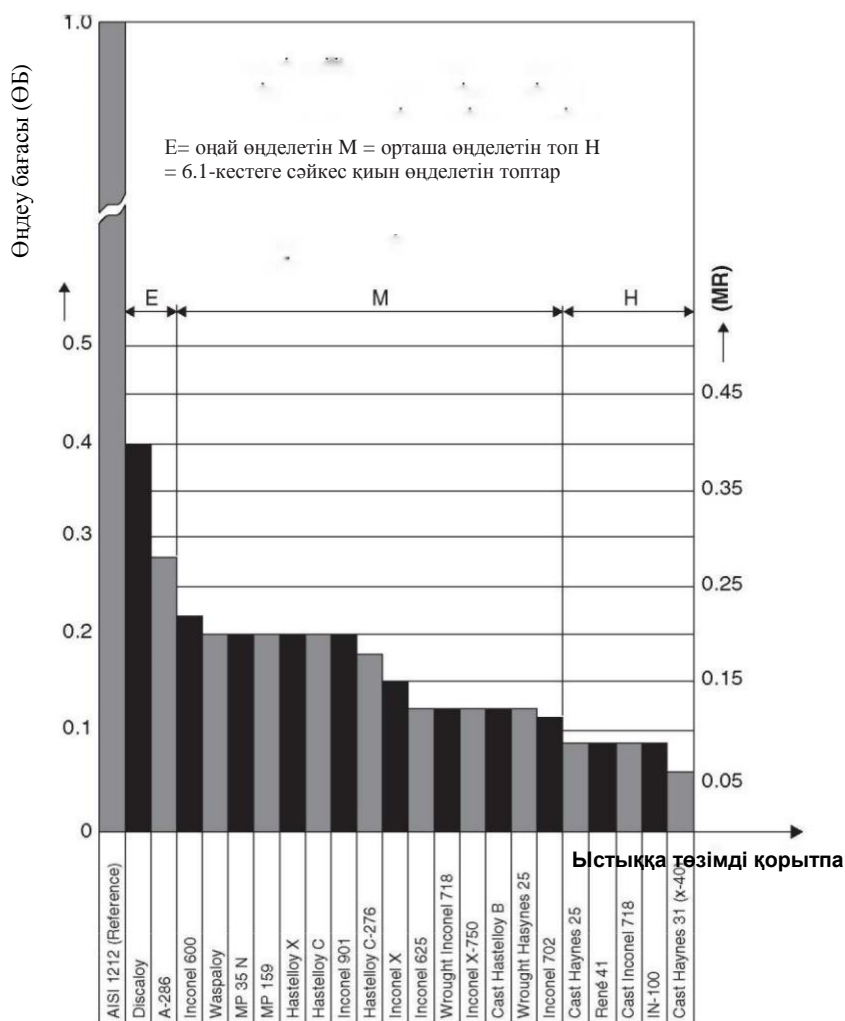
Қорытпа маркасы	v (m / min)	СО	Қорытпа маркасы	БҚС	СО
АТБИ-1212	60	1,0			1,0
<i>Ыстыққа төзімді</i>			<i>Ыстыққа төзімді қорытпалар</i>		
А-286	17	0,28	Дискалой	135	0,4
Хейнс 25 (L-605)	5	0,09	Хастеллоу В	200	0,12
Инконель 600	15	0,22	Хастеллоу С	170	0,20
Инконель 625	6	0,12	IN-100	320	0,09
Инконель 718	6	0,12	Хейнс 31- құйма	-	0,06
Инконель X-750	6	0,12	Инконель X	360	0,15
Уэспалой	14	0,2	Инконель 718-құйма	290	0,09
MP35N	14	0,2	Инконель 702	225	0,11
MP159	14	0,2	Инконель 901	200	0,20
Хастеллой С-276	12	0,18	Инконель 901	300	0.13 a
Хастеллой X	14	0,2			
Рене 41	5	0,09			

^aMR2 = (200/300) x 0.2 = 0.13.

Құрамы: High Performance Alloys, Inc. [3] and All Metals & Forge Group [4].

Әдебиетте ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу жөніндегі ұқсас деректер мен ұсыныстар келтіріледі, алайда оларды тек жалпы басшылық ретінде қарастыру керек. Ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу соншалықты күрделі, бұл құрал қызметінің ақылға қонымды мерзіміне әкелетін және экономикалық аспектілерді қамтамасыз ететін өңдеу параметрлерінің жиынтығын әзірлеу үшін кез келген қорытпаға мұқият зерттеу жүргізу қажет.

Жалпы айтқанда, бір процеспен өңделетін материал басқалармен өңделмеуі мүмкін. Сонымен қатар, осы шарттарға сәйкес келетін нақты өңдеу процесі басқа жағдайларда бір материалды өңдеу үшін соншалықты тиімді болмауы мүмкін. Сонымен қатар, ыстыққа төзімді қорытпалар үшін, олардың өңдеудегі үлкен өзгерістерден басқа, бір қорытпа әр түрлі өңдеу операцияларына жауап ретінде ерекшеленеді. Бұл салыстыру арқылы үш қорытпаның класын білдіретін кең қолданылатын үш қорытпалар ұсынылған, атап айтқанда, 286, Инконель х-750, және Хейнс 25, әртүрлі механикалық өңдеу операцияларын пайдалану кезінде (кесте. 6.4) [2]. Инконель X-750 және Хейнс 25 үшін СО орташа мәні өте ұқсас (сурет. 6.1), бірнеше процестер үшін елеулі айырмашылықтар бар.



6.1-сурет. Эталондық материал ретінде АТБИ-1212 есебімен ең жиі пайдаланылатын суперкорытпаның өңделуін бағалау.

6.2.2 Үлестік кесу энергиясы негізінде өңдеу

Өңдеудің ең маңызды интерпретациясының бірі берілген жұмыс жағдайында материалды кесудің үлестік энергиясы болып табылады. 4-тарауда бұрын сипатталғандай, K_s үлестік кесу энергиясы механикалық құралдың динамометрін пайдалана отырып, күш өлшеу арқылы немесе ваттметрді пайдалана отырып кіріс сигналының электр корегін өлшеу арқылы жанама түрде анықталуы мүмкін.

6.4-кесте. Инконель X-750, Хейнс 25 және А-286 өңдеу көрсеткіштерін салыстыру АИЖС 4130 Болат (15 RC және ТНК, 700 МПа)

Операция	Өңдеуді бағалау		
	Ni- базалы	Co- базалы	Fe- базалы
Инконель X-750		Хейнс 25	А-286
	35 RC	24 RC	35 RC
Шеткі фрезерлеу	0.045	0.025	0.085
Үшкірлеу	0.15	0.23	0.155
Бұрғылау Ф6/Ф12 мм	0.1/0.09	0.12/0.10	0.035/0.07
Жаймалау Ф6/Ф12 мм	0.07/0.1	0.15/0.16	0.20/0.22
Бұрғы	0.8	0.95	0.74

СТБ, созылудағы типтік беріктігі.
Берілген: МТПБ16 [2].

6.5-кесте. Ыстыққа төзімді қорытпалар энергиясын нақты кесу

Ыстыққа төзімді қорытпа	Өңдеу		БҚС	Арнайы кесу энергиясы $k_{s,1}$ (N/mm ²)	Қалыңдық көрсеткіші z
		Термиялық өңдеу			
Fe негізіндегі қорытпа	Көрсетілмеген	Күйдірілген	200	2400	0.25
		Престарелый	280	2500	0.25
Ni негізіндегі қорытпа	Термиялық өңделген	Күйдірілген	250	2650	0.25
		Көрсетілмеген	350	2900	0.25
		Құйылған	320	3000	0.25
Co негізіндегі қорытпа	Термиялық өңделген	Күйдірілген	200	2700	0.25
		Ұсталған	300	3000	0.25
		Көрсетілмеген	320	3100	0.25



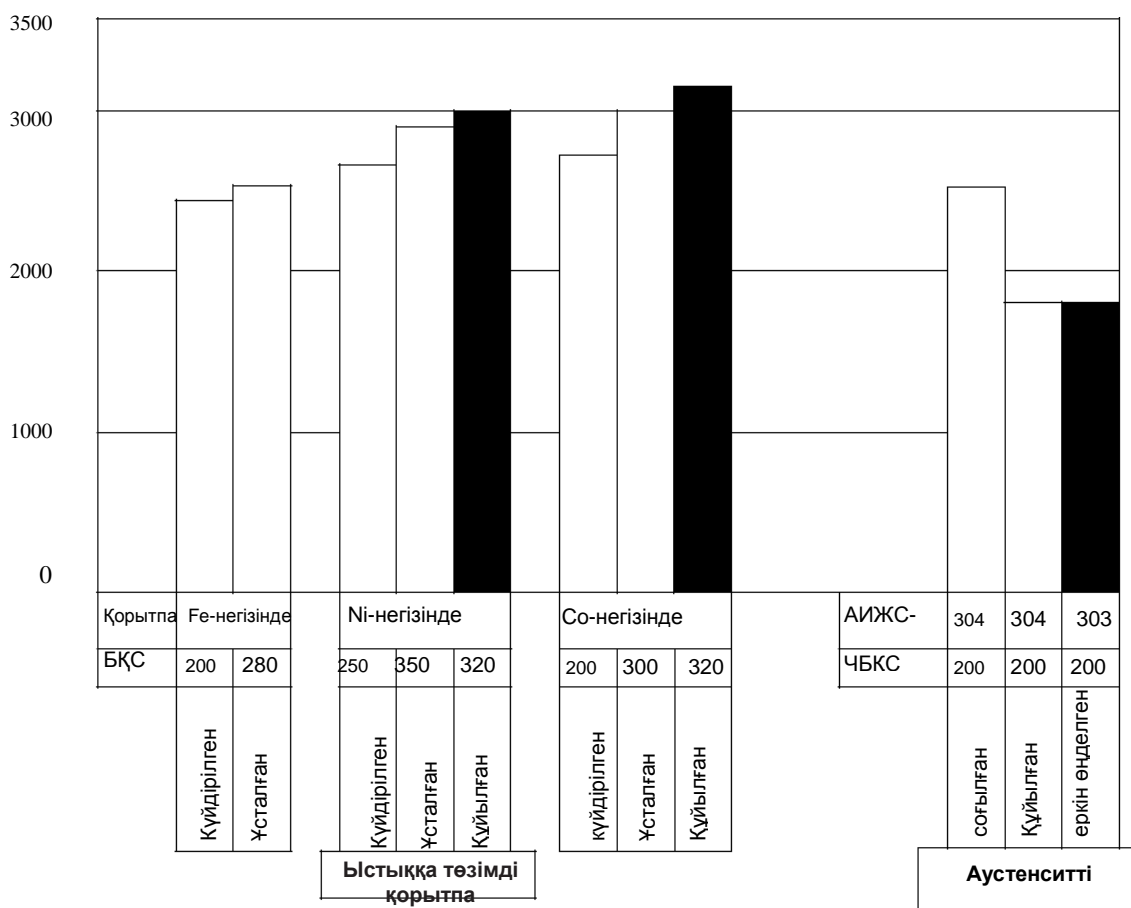
Представлено из: Sandvik [5].

Берілген: Сандвик [5].

Сандвик [5] K_s кесудің меншікті энергиясы бойынша деректерді, сондай-ақ ыстыққа төзімді қорытпалардың негізгі түрлерінің жоңқасының қалыңдығының тиісті көрсеткіштерін ұсынды (6.5-кесте). 6.2-сурет, Fe, Ni және Co негізіндегі қорытпалар үшін, сондай-ақ кейбір кеңінен қолданылатын аустениттік тот баспайтын болаттарды салыстыру үшін K_s мәндері көрсетілген.

6.3 Ыстыққа төзімді қорытпалардың дәстүрлі өңдеу процестері (ДӨП)

ДӨП ыстыққа төзімді қорытпалармен көп пайда табады, өйткені олар 7-9 тарауларында қарастырылатын дәстүрлі емес әдістерді пайдалана отырып қол жеткенге қарағанда металлды жоюдың әлдеқайда жоғары тарифтерімен қамтамасыз етеді. Ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу үшін қолданылатын ең дәстүрлі процестер— жонып бұрғылау, жаю, созғышты фрезерлеу және тегістеу. Дегенмен, сүргілеу, қалыптау, бұранданы кесу, кесу, тісті дөңгелектерді кесу және т.б. сияқты басқалар да қолданылуы мүмкін. Бір нүктелі жонып өңдеу құралы—ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу процесінде жиі қолданылады.



Сурет 6.2 Fe, Ni және Co негізіндегі қорытпалар үшін, сондай-ақ кейбір кеңінен пайдаланылатын аустениттік тот баспайтын болаттан салыстыру үшін K_s жаһандық мәндері.

6.3.1 Ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу бойынша мәселелер мен ұсыныстар

Ыстыққа төзімді қорытпалардың төмен жылу өткізгіштігіне байланысты өңдеу кезіндегі температура 1000-1300 °C жетуі мүмкін, бұл кратердің тозуына және кескіш құралдың Қатты Пластикалық деформациясына әкеледі. Кратердің тозуы, өз кезегінде, кесетін жиекті әлсіретуі мүмкін, бұл апатты бұзуға әкеледі. Сондықтан, кратердің тозуына қарсы кедергі механикалық өңдеуге ыстыққа төзімді қорытпаларды ұшыратуға арналған құрал қасиетіне маңызды талап. Пластикалық деформация, екінші жағынан, кесу жиегін сатып алады, сол арқылы кесу күшін арттырады.

Бұл қорытпалардың химиялық реакциялық қабілеті ЗК-түзілу мен жабынның қатпарлануын жеңілдетеді, ол құралдың қысқа өміріне кесетін құралын қатаң нашарлатады. Мінсіз кесетін құрал осындай қорытпаларды өңдеу кезінде химиялық инерттілікті көрсетуі тиіс. Микроқұрылымдағы қатты абразивті металларлық қосылыстар аспап ұштығының қатты абразивті тозуын тудырады.

Өңдеу кезінде бөлінетін жылу микроқұрылымды ықтимал өзгерте алады. Ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу кезінде алынатын жоңқалар берік және үздіксіз болып табылады және жоңқаның тамаша геометриясын талап етеді.

Жалпы ұсыныстар ретінде, ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу кезінде үнемі жоғары жылдамдығы мен беріктігін азайту үшін кесу тереңдігін ұстап тұру керек. Келесі үдерістердегі өнімділік пен проблемаларды арттыру мүмкіндігін болдырмау үшін құралды ешқашан кідіруге рұқсат етілмейді. Керамикалық құралдан басқа, жоғары температураны және, демек, құралдың тез тозуын төмендету үшін суыту сұйықтығының көп мөлшері ұсынылады.

Төменде жоғары температуралы ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу бойынша практикалық нұсқаулық (Seco техникалық басшылығынан кейін, қиын өңделетін қорытпаларды токарлық өңдеу [6]):

- Машина қорытпалары ең жұмсақ күйде болуы мүмкін
- Оң рейка немесе жыраны пайдаланыңыз.
- Салыстырмалы өткір жиектерді пайдаланыңыз.
- Күшті геометрияны пайдаланыңыз.
- Қатты параметрді пайдаланыңыз.
- Бөліктің ауытқуын болдырмаңыз.
- Жоғары бұрышты пайдалану.
- Егер бір өткел қажет болса, кесу тереңдігін өзгертіңіз.

Кескіш жиектің оң алдыңғы бұрышында бұл мүмкін болған жағдайда, алынған және таза операциялар үшін ұсынылады. Геометрияның оң алдыңғы бұрышы жоңқаның дайындамадан ығысуы жолымен өңделген беттің жапсырмасын барынша азайтады, жасақтың кішірейтілуіне қосымша тиімді әдіс. Ендірменің өте ашық немесе тіпті өткір шеттері материалдық өсуді болдырмауда және механикалық өңдеуден өту кезінде беттік өңдеуді жақсартуда пайдалы. Сатып алынған немесе дұрыс қайралмаған жиектер өңдеу кезінде кесу күшін арттырады, металдың жинақталуын, өңделетін материалдың үзілуі мен иілуін туындатады. Алайда, пластиналардың өткір жиектері өте нәзік және өңдеу кезінде сынықтарға ұшырайтынын атап өту маңызды, сондықтан хонингтелген жиектер үстіңгі кабаттың кедір-бұдырлығына байланысты қауіптенуі аз болатын қара өңдеу операцияларының көпшілігі үшін ұсынылады. Осыдан кейін өткір жиектер әрлеу операцияларына қолданылады.

Бөлшектің геометриясы қажет емес жерде жоғарғы шеңбердің үлкен радиусын пайдалану, әйтпесе кесу жиегін күшейте алады. Бұл құралдың шетін кесіндіге көп тартуға әсер етеді, кез келген бір кезеңге күш азайту, және локализацияланған зақымдануды болдырмау. Қатты күйге келтірумен өңдеу дірілдің алдын алады және одан кейінгі дірілдің алдын алады, бұл беттің тазалығын нашарлатады және құралдың бұзылуына әкелуі мүмкін. Қатты қондырғылармен тығыз рұқсатнаманы сақтауға болады. Жұмыс материалының ауытқуының алдын алу керек, әсіресе жұқа қабырғалы компоненттер немесе бөліктер механикалық өңдеуге ұшырайды. Қосымша металдарды, арнайы құрылғыларды немесе резервтік көшірмені пайдалану сияқты арнайы сақтық шаралары өңдеу кезінде қозғалысты болдырмау үшін пайдаланылуы мүмкін.

6.3.2 Түрлендіру

4-тарауда талқыланғандай, кескіш құралдардың барлық түрлері ыстыққа төзімді қорытпаларды қайрау кезінде қолданылады. Әдетте қатты балқитын құралдар, жабыны бар карбидтер, керамика, бор кубтық нитридi (ҰҚК) және тіпті БРС қолданылады. Бастапқы өңдеу үшін С-2 маркалы қатты балқитын құралды жиі таңдайды, ал таза өңдеу үшін с-3 (6.6-кесте). Ni (соғылған немесе құйылған) негізіндегі қатты қорытпаларды және Со негізіндегі қорытпаларды, нығыздалған және соғылған (ӨЕ-Ұс), НТББ және қатты қорытпаларды өңдеу кезінде жоғары өнімділікке қол жеткізу үшін Боразонға (ҰҚК) немесе керамикаға ауыстыру керек. Боразон 120-дан 185 м / мин дейінгі диапазонда кесу жылдамдығын іске асырады (6.6-кесте), ал керамика жоғары кесу жылдамдығы үшін суытусыз пайдаланылуы мүмкін. 6.7-кестеде БКН және жабыны бар қатты балқитын құралдарды пайдалана отырып ыстыққа төзімді қорытпаларды қара және таза нүктесіне арналған номиналды жылдамдық диапазоңдары келтірілген. 6.3-суретте БРС-140-тан 475-ке дейінгі диапазонда БҚС-дан ыстыққа төзімді қорытпаларға (соғылған және құйылған) арналған токарь аспабы көрсетілген.

6.6-кесте. Ыстыққа төзімді қорытпаларды цилиндрлік айналдыруға арналған жылдамдықтар, берілістер және кесу құралдары

Ыстыққа төзімді қорытпалар тобы	Жағдайы	БҚС	Кесу тереңдігі (мм)	ЖЖБ		Түрі	Индекстелетін карбид			Боразон	
				v (м/мин)	f (мм/айн)		v м/мин	f (мм/айн)	Түре	v (м/мин)	f (мм/айн)
Fe-C1	Күйд.	135–185	1	37	0.18	M-2, M-3	115	0.18	C-7	—	—
			8	23	0.5	M-2, M-3	76	0.5	C-6	—	—
Fe-C2	Күйд. н/е N	135–185	1	24	0.18	M-2, M-3	84	0.18	C-7	—	—
			8	15	0.5	M-2, M-3	60	0.5	C-6	—	—
Ni-W5	R	180–200	0.8	30	0.13	T-15, M-42	90	0.13	C-3	—	—
			2.5	24	0.18	T-15, M-42	85	0.18	C-2	—	—
			5.0	18	0.40	T-15, M-42	60	0.40	C-2	—	—
Fe-C3	C	160–210	1	21	0.18	M-2, M-3	76	0.18	C-7	—	—
			8	12	0.5	M-2, M-3	53	0.5	C-6	—	—
Fe-W	ЕӨ	180–230	0.8	14	0.13	T-15, M-42	5.8	0.13	C-3	—	—
			2.5	11	0.18	T-15, M-42	49	0.18	C-2	—	—
			5.0	—	—	—	37	0.25	C-2	—	—
	ЕӨ-Т	250–320	0.8	12	0.13	T-15, M-42	5.2	0.13	C-3	—	—
			2.5	9	0.18	T-15, M-42	44	0.18	C-2	—	—
			5.0	—	—	—	30	0.25	C-2	—	—
Ni-W4	Күйд. н/еЕӨ	140–220	0.8	8	0.13	T-15, M-42	35	0.13	C-3	—	—
			2.5	6	0.18	T-15, M-42	30	0.18	C-2	—	—
			5.0	—	—	—	24	0.40	C-2	—	—
	Cd н/еВы	240–310	0.8	6	0.13	T-15, M-42	27	0.13	C-3	—	—
			2.5	5	0.18	T-15, M-42	21	0.18	C-2	—	—
			5.0	—	—	—	15	0.40	C-2	—	—
Ni-W1	Күйд. н/е ЕӨ	200–300	0.8	8	0.13	T-15, M-42	30	0.13	C-3	—	—
			6	6	0.18	T-15, M-42	24	0.18	C-2	—	—
			—	—	—	—	18	0.40	C-2	—	—
	ЕӨ-Т	300–400	0.8	8	0.13	T-15, M-42	29	0.13	C-3	185	0.08
			2.5	5	0.18	T-15, M-42	23	0.18	C-2	150	0.13
			5.0	—	—	—	15	0.40	C-2	135	0.13

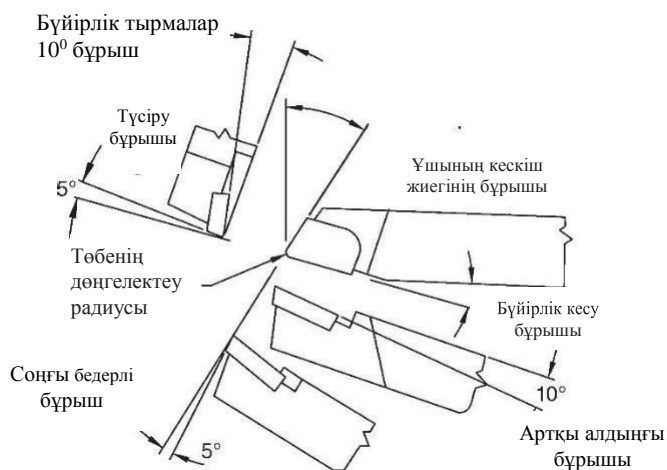
Co-W	EΘ	180–230	0.8	8	0.13	T-15, M-42	27	0.13	C-3	—	—
			2.5	6	0.18	T-15, M-42	21	0.18	C-2	—	—
			5.0	—	—	—	17	0.25	C-2	—	—
	EΘ-T	270–320	0.8	6	0.13	T-15, M-42	24	0.13	C-3	—	—
			2.5	5	0.18	T-15, M-42	20	0.18	C-2	—	—
			5.0	—	—	—	15	0.25	C-2	—	—
Ni-C1	C н/е Қ-Үс 200–375		0.8	5	0.13	T-15, M-42	24	0.13	C-3	—	—
			2.5	3.6	0.18	T-15, M-42	21	0.18	C-2	—	—
			5.0	—	—	—	17	0.25	C-2	—	—
Ni-W2	EΘ	225–300	0.8	5	0.13	T-15, M-42	24	0.13	C-3	—	—
			2.5	3.6	0.18	T-15, M-42	21	0.18	C-2	—	—
			5.0	—	—	—	17	0.25	C-2	—	—
	EΘ-T	300–400	0.8	3.6	0.13	T-15, M-42	14	0.13	C-3	185	0.08
			2.5	3	0.18	T-15, M-42	12	0.18	C-2	135	0.13
			5.0	—	—	—	9	0.25	C-2	120	0.13
Co-C	C н/еҚ-Үс 220–290		0.8	6	0.13	T-15, M-42	18	0.13	C-3	—	—
			2.5	3.6	0.18	T-15, M-42	15	0.18	C-2	—	—
			5.0	—	—	—	—	—	—	—	—
	C н/еҚ-Үс 220–425		0.8	3.6	0.13	T-15, M-42	14	0.13	C-3	185	0.08
			2.5	3	0.18	T-15, M-42	9	0.18	C-2	135	0.13
			5.0	—	—	—	—	—	—	120	0.13
Ni-C2	C н/еҚ-Үс 250–300		0.8	5	0.13	T-15, M-42	18	0.13	C-3	—	—
			2.5	3.6	0.13	T-15, M-42	14	0.18	C-2	—	—
			5.0	—	—	—	11	0.25	C-2	—	—
	C н/е Қ-Үс 220–425		0.8	3.6	0.13	T-15, M-42	15	0.13	C-3	185	0.08
			2.5	3	0.13	T-15, M-42	11	0.18	C-2	135	0.13
			5.0	—	—	—	9	0.25	C-2	120	0.13
Ni-W3	EΘ	275–390	0.8	5.0	0.13	T-15, M-42	15	0.13	C-3	—	—
			2.5	3.6	0.18	T-15, M-42	14	0.18	C-2	—	—
			5.0	—	—	—	11	0.25	C-2	—	—
	EΘ-T	400–475	0.8	3.6	0.13	T-15, M-42	15	0.13	C-3	185	0.08
			2.5	3.0	0.18	T-15, M-42	12	0.18	C-2	135	0.13
			5.0	—	—	—	9	0.25	C-2	120	0.13

Ескерту: Қысқартулар 6.1-кестеде келтірілген.
Берілген: Metcut Associates [1].

6.7 кесте ҰҚК және қатты балкитын құралдарды пайдалана отырып супер қорытпаларды бастапқы және таза токарлық өңдеуге арналған жылдамдық диапазоны

6.1-кестеде айқындалған ыстыққа төзімді қорытпалар тобы	БҚС	Бастапқы өңдеу		Таза өңдеу	
		БКН	Жабынмен	БКН	Жабынмен
		v (м/мин)		v (м/мин)	
Жеңіл өңделетін	135–210	—	70–100	—	100–145
Орташа және қиын өңделетін	200–475	120–135	—	160–185	—

Кесу жылдамдығы қорытпаның қаттылығының ұлғаюына қарай азаяды



Құрал геометриясы	
Құрал бұрышы	Деңгей
Бүйір бедері	5
Бүйір тырма	10
Шеткі рельеф	5
Шеткі кесу жиегі	45
Қайта қазу	10
Борттық кесу	Ең көп
Дөңгелектеу радиусы (мм)	Ең көп

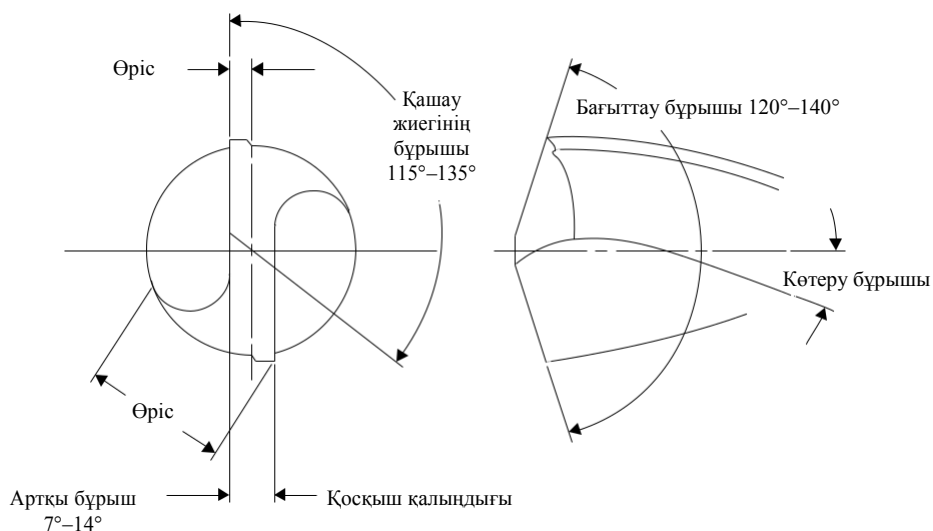
Сурет 6.3 БРС - 140-тан 475-ке дейінгі диапазонда БҚС ыстыққа төзімді қорытпаларға (соғылған және құйылған) арналған токар аспабы

БКН және жабыны бар қатты балкитын құралдарды пайдалана отырып ыстыққа төзімді қорытпалардың қара және таза нүктесіне арналған номиналды жылдамдық диапазондары. 6.3-суретте 140-тан 475-ке дейінгі диапазонда БҚС-дан жасалған ыстыққа төзімді қорытпаларға (соғылған және құйылған) арналған БРС-токар аспабы көрсетілген.

6.3.3 Бұрғылау

Ыстыққа төзімді қорытпаларды бұрғылау кезінде кесудің жоғары күші құрал мен дайындаманың барынша қаттылығын талап етеді. Конструкция немесе құралды таңдау тұрғысынан, ең маңызды талап бұрғыштың қалың қабырғадан мүмкіндігінше қысқа және қатты болуы болып табылады (сурет. 6.4). Екі БРС және қатты балкитын бұрғы ыстыққа төзімді қорытпаларды бұрғылау кезінде қолданылады.

Қолдануларда кіші диаметрлі бұрау бұрғыларын қоса алғанда (диаметрі < 6 mm), Т-15 бұрғылау материалы тұрақсыз көрініс көрсетті. Т-15 класты НТББ-бұрғы өте жоғары қаттылықты (67 RC немесе одан жоғары) дамытуға қабілетті және Т-15 шағын бұрғы кесетін жиектердің микроскопиялық шындалуына байланысты сәтсіздікке ұшырайды. Бұл, бәлкім, шағын бұрғыштың және Т-15 НТББ-TwiEӨ сәл артық ірі астық бұрғыштың тән қаттылығының нәтижесі болып табылады [2].



Ыстыққа төзімді қорытпаларды бұрғылауға арналған артқы бұрыштар

Бұрғы диам.(мм)	3-6	7-9	10-12	13-16	17-25 (және көп)
Артқы бұрыш	14°	12°	10°	8°	7°


Сурет 6.4 Ыстыққа төзімді қорытпаларды бұрғылау үшін пайдаланылатын спиральді бұрғылауға арналған құралдың ұсынылатын геометриясы.

Қатты балқитын ұштықтары бар бұрғылау NI-W3 (6.1-кесте) категориясын және NI NI MA 6000 негізіндегі механикалық легирленген қорытпаларды бұрғылау үшін қолайлы (6.3-кесте). Бұл қорытпалар кәдімгі БРС бұрғыларымен өңдеу кезінде жоғары төзімділікке ие. Қатты балқитын бұрғылар сондай-ақ NI-C2 және Со-санаттарындағы қорытпаларды бұрғылау кезінде (6.1-кесте), егер олар 320-425 БҚС және 250-425 БҚС қаттылығы болса [1] қолайлы. 6.4-суретте ыстыққа төзімді қорытпаларды бұрғылау үшін қолданылатын спиральді бұрғылауға арналған құралдың ұсынылатын геометриясы көрсетілген. Номиналды жылдамдық және ыстыққа төзімді қорытпалардың түрлі түрлерін бұрғылау үшін қолайлы бұрғылау материалымен қатар беру 6.8-кестеде келтірілген.

Терең тесіктерді бұрғылау кезінде, мысалы, 8: 1 жақтарының қатынасымен кесу жылдамдығы 40%-ға, ал беру жылдамдығы 20% - ға төмендетілуі тиіс [2]. Ыстыққа төзімді қорытпаның түріне байланысты БРУС-бұрғымен бұрғылау кезінде кесу жылдамдығы 2-ден 18 м/минюстка дейін қолданылады. Рене 41 және Хейнс 25 сияқты ең қиын өңделетін ыстыққа төзімді қорытпалар үшін 2 м/мин жылдамдығы қажет болуы мүмкін. 3 м/мин төмен жылдамдықтар сирек қолданылады, себебі бұл жағдайда жылжу әрекеті нашар және бұрғы сынудан істен шығуы мүмкін. Қатты балқитын бұрғышты пайдалану кезінде жылдамдық әдетте екі-үш есе жоғары. Тұрақты беру жылдамдығы, сондай-ақ оңай қатайтатын ыстыққа төзімді қорытпаларды бұрғылау кезінде маңызды. Қолмен беру кейде пайдаланылады, алайда, ыстыққа төзімді қорытпаларды бұрғылау үшін ұсынылмайды.

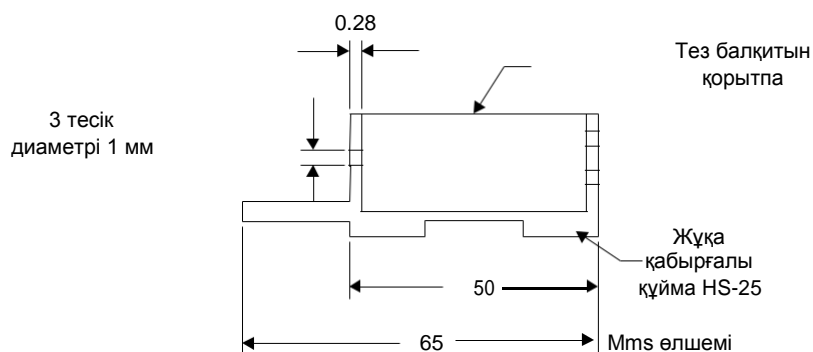
Ыстыққа төзімді қорытпаларды бұрғылау кезінде кесудің жоғары күші дайындаманы бекітудің барынша қатандығын қажет етеді. Дайындаманың қабырғалары қысу және кесу күштеріне қарсы тұру үшін тым жұқа болған кезде, қаттылықты қамтамасыз ету үшін жұмыс қуысын жеңіл балқитын қорытпамен толтыру сияқты кейбір арнайы әдістерді қолдану қажет (6.5 сурет).

6.8-кесте. ЖЖБ және қатты қорытпа бұрғышты пайдалана отырып ыстыққа төзімді қорытпаларды бұрғылауға арналған ұсынылатын жылдамдық, беру және құрал материалдары

Ыстыққа төзімді қорытпаның өңдеу тобы	Жағдайы	БҚС	Жылдамдық v (м/мин)	Беріліс (мм/айн)						Құрал материалы
				Номиналды диаметр (мм)						
				3	6	12	18	25	50	
Fe-C1	Күйд.	135–185	18	0.05	0.1	0.18	0.25	0.35	0.4	M-1, M-7, M-10
Fe-C2	Күйд. не Н	135–185	16	0.05	0.1	0.18	0.25	0.30	0.4	M-1, M-7, M-10
Ni-W5	R	180–200	16	0.05	0.1	0.18	0.25	0.4	0.45	M-1, M-7, M-10
Fe-C3	C	160–210	14	0.05	0.08	0.12	0.2	0.25	0.3	M-1, M-7, M-10
Fe-W	ЕӨ	180–230	8	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	—	T-15, M-42
	ЕӨ-Т	250–320	6	0.05	0.1	0.15	0.2	0.2	—	T-15, M-42
Ni-W4	Күйд. не ЕӨ	140–220	6	0.05	0.075	0.075	0.1	0.1	—	M-1, M-7, M-10
	Ст не Ұс	240–310	5	0.05	0.075	0.075	0.1	0.1	—	M-1, M-7, M-10
	Күйд. не ЕӨ	200–300	6	0.05	0.075	0.075	0.1	—	—	T-15, M-42
Ni-W1	ЕӨ-Т	300–400	5	0.05	0.075	0.075	0.1	—	—	T-15, M-42 
	o-W	180–230	6	0.05	0.075	0.075	0.1	—	—	T-15, M-42
Ni-C1	ЕӨ-Т	270–330	5	0.05	0.075	0.075	0.1	—	—	T-15, M-42
	Қ не Қ-Ұс	200–375	2	0.05	0.075	0.075	0.1	—	—	T-15, M-42
Ni-W2	ЕӨ	225–300	5	0.05	0.075	0.075	0.1	—	—	T-15, M-42
	ЕӨ-Т	300–400	3.6	0.05	0.075	0.075	0.1	—	—	T-15, M-42
Co-C	Қ не Қ-Ұс	220–290	2.4	0.05	0.075	0.075	0.1	0.15	—	T-15, M-42
	Қ не Қ-Ұс	290–425	5	0.025	0.05	0.075	0.1	—	—	C-2
Ni-C2	Қ не Қ-Ұс	250–320	2.4	0.05	0.075	0.075	0.1	—	—	T-15, M-42
	Қ не Қ-Ұс	320–425	5	0.025	0.05	0.075	0.1	—	—	C-2
Ni-W3	ЕӨ	275–390	6	0.025	0.05	0.075	0.1	—	—	C-2
	ЕӨ-Т	400–475	5	0.025	0.05	0.075	0.1	—	—	C-2

ЕӨ: ерітіндімен өңделген, Күйд.: күйдірілген, Н: нормаланған, Қ: құйылған, С: соғылған, Қ-Ұс: құйылған және ескірген, ЕӨ-Т: ерітінді өңделген және төзімді, П: прокат, және Ст: суық тартылған.

Берілген: MetcutAssociates [1].



6.5 сурет. Жұмыс қуысын тез балқитын қорытпамен толтыру.

Тапанша дрелдері тереңдік тесіктің үш есе диаметрінен (диаметрі 50 мм-ге дейін) артық тереңдік бұрғылау үшін NI -W3, NI-C2 және Co-C санаттарына жататын қиын өңделетін ыстыққа төзімді қорытпалар ұсынылады (6.1-кесте.). Бұл түрі бұрғылар-қатынастан қашады твердеть ол жатқан қандай шектен тармағының стандартты бұрғы бұрау. Тесік диаметріне, беру жылдамдығына байланысты 4-тен 30 rpm дейін диаметрі 2-ден 50mm дейін. Бұл берілістер қатты балқитын қондырғылармен (С-2 класы) бұрғыларды, бір сатылы зеңбіректі бұрғыларды пайдаланатын ыстыққа төзімді қорытпалардың барлық түрлері үшін жарамды. 6.1-кестеде анықталған ыстыққа төзімді қорытпалардың Мг санатына байланысты кесу жылдамдығы, егер С-2 карбиді пайдаланылса, жеңіл өңделетін ыстыққа төзімді қорытпалар үшін 26 м/мин-ден 15 м/мин-ге дейін қиын өңделетін ыстыққа төзімді қорытпалар үшін ауытқиды.

6.3.4 Қашау

Жылдамдығы 3 м/мин кем ыстыққа төзімді қорытпаларды қашау үшін сирек практикалық болады, өйткені кесу жиектері, ең алдымен, сынады. Беру жоңқа қалыңдығының практикалық өлшемі бар кескіш әрекетті қолдау үшін жеткілікті үлкен болуы тиіс. Өткізу қабілеті ыстыққа төзімді қорытпалар үшін өте маңызды. Материалдың артық мөлшерін алып тастау ұңғының шамадан тыс жүктелуіне әкеледі, ал материалдың жеткіліксіз саны жылтыратуға әкеледі, бұл қорытпаның қатаюына әкеледі. Ыстыққа төзімді қорытпалар үшін қашауға арналған әдіптің оңтайлы шамасы тесік өлшеміне байланысты өзгереді, бірақ радиус бойынша 0,13 мм ең кішкентай тесіктер үшін де ең аз болуы тиіс [2].

Әдетте, қатты қорытпаларды қолданған жөн, бірақ УСЗ-қашаулар, сондай-ақ қарапайым және ыстыққа төзімді қорытпалардан кесу үшін қолданылады. Қатты қорытпалы дәнекерленген жаймалар қиын өңделетін ыстыққа төзімді қорытпаларды және механикалық қоспаланған та 6000 бұйымдарды қашау кезінде қолданылуы керек. Қатты балқитын ұңғыларды пайдалану кезінде ұсынылатын жылдамдық ыстыққа төзімді қорытпаның өңделуіне байланысты 3-тен 14 м/мин-ге дейін құрайды. БРС канат жаюын пайдаланған кезде осы мәндердің үштен екісін ғана пайдалану ұсынылады [1].

6.3.5 Фрезерлеу

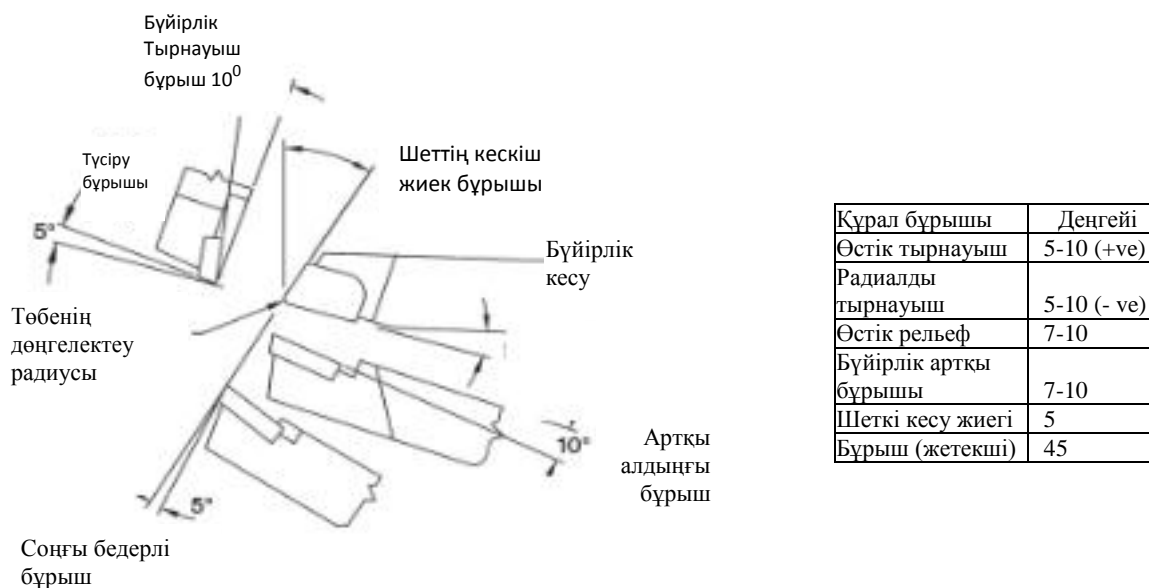
Ыстыққа төзімді қорытпалардың ілеспе фрезерленуі, әдетте, әдеттегідей, жақсырақ. Бұл үшін люфттердің түзеткішімен жабдықталған фрезерлік станоктар қажет, бірақ 1,5 мм тереңдіктен кесіктер сирек қажет қаттылыққа қол жеткізу мүмкін емес болғандықтан ыстыққа төзімді қорытпаларды фрезерлеуді көтерумен әрекет жасайды. [7].

Фрезаның кесетін жиектері жиегі тіліктен шыққан кезде жоңқаның фрагменттерінің жабысуын болдырмау үшін жиектерін ең аз дөңгелектеу арқылы болуы тиіс. Әдеттегі тәжірибе материалдың беріктігін болдырмау үшін орташа жоғары беру/тіс (кемінде 0,1 мм/тіс) ұштастыра кесу өте төмен жылдамдығын пайдалану болып табылады.

Борттың тозуы 0,2-0,3 мм аспауы тиіс, әйтпесе апатты бұзылу ықтималдығы тез өседі. Ыстыққа төзімді қорытпаларды фрезерлеу үшін фреза конструкциясының екі мәселесін арнайы қарастыру

қажет. Біріншіден, тістің беріктігі болатты немесе шойынды фрезерлеу үшін талап етілгеннен артық болуы тиіс, ал екіншіден, рельефтің бұрыштары үйкеліс пен одан кейінгі ыстыққа төзімді қорытпаның нығыздалуын болдырмау үшін жеткілікті үлкен болуы тиіс. Кесу материалына қарамастан, және шағын кескіштер қоспағанда, енгізілген жүздер барлық дерлік кескіште қолданылған, тіпті ең қолайлы механикалық өңдеуге ұшырап, өйткені, кесу жиегі құралының өмірі қысқа. Жүздерді фрезаның корпусына бекітудің механикалық тәсілдері қолайлы, өйткені сынған немесе сынған жүздерді (дәнекерленбеген) ауыстыру оңайырақ. 6.6-суретте 200-ден 475 м/мин-ге дейінгі диапазонда деформацияланған және құйылған ыстыққа төзімді қорытпаларды фрезерлеуге арналған БРС бүйір фрезасы көрсетілген.

Фрезерлеудің үзік кесу әсерінен БРС көп жағдайларда ыстыққа төзімді қорытпалар үшін пайдаланылады. Алайда, карбид БРС қарағанда үнемді, Рене 41 және МА-6000 сияқты ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу үшін неғұрлым күрделі фрезерлеу кезінде. Карбидтің шағын қатты бүйірлік фрезалары сәтті қолданылған. БРС жоғары қоспаланған маркалары әдетте жалпы мақсаттағы маркалардан асып түседі, бірақ ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу үшін пайдаланылатын басқа тиімді құралдарға қарағанда өнімділіктің аз айырмашылығы бар [2]. Номиналды жылдамдық және ыстыққа төзімді қорытпалардың шеткі (шеткі) фрезерлеу үшін беру 6.9 және 6.10-кестелерде келтірілген. Осы кестелерде көрсетілген параметрлер фрезерлеу операциялары қондырғының жеткілікті қаттылығы, құралдың оңтайлы геометриясы және майлау-суыту сұйықтығын мол жіберу тұрғысынан оңтайлы жағдайларда жүргізіледі деп болжайды. Бір немесе бірнеше факторлар қолайлы болған кезде (мысалы, ыстыққа төзімді қорытпаның шамадан тыс қаттылығы немесе қондырғының жеткіліксіз қаттылығы) жылдамдық азайтылуы тиіс. Кейбір жағдайларда құралдың қолайлы ресурсын қамтамасыз ету үшін NI және Co-base негізінде 1,5 м / мин дейінгі жылдамдықпен қорытпаларды фрезерлеу қажет болуы мүмкін [2].



Сурет 6.6 200-ден 475 м/мин-ге дейінгі ұңғымалардың деформацияланатын және құю ыстыққа төзімді қорытпаларын өңдеуге арналған жылдам кесетін болаттан жасалған бүйірлік фрезалар.

Кесте 6.9 Шеткі фрезерлеу үшін ұсынылатын жылдамдық, беру және кесу құралы

Ыстыққа төзімді қорытпа тобы	Жағдайы	БҚС	Кесу тереңдігі (мм)	ЖЖБ			Бөлінбеген индекстелетін карбидтер		
				v (м/мин)	f (мм/тіс)	Түрі	v (м/мин)	f (мм/тіс)	Түрі
Ni-W5	R	180–200	1	35	0.10	T-15, M-42	84	0.15	C-2
			4	27	0.15		67	0.25	
			8	21	0.20		52	0.25	
Fe-W	ЕӨ	180–230	1	18	0.13	T-15, M-42	30	0.15	C-2
			4	9	0.20		24	0.20	
			8	5	0.25		18	0.25	
	ЕӨ-Т	250–320	1	12	0.10	T-15, M-42	21	0.15	C-2
			4	6	0.15		20	0.20	
			8	5	0.20		12	0.25	
Ni-W4	Күйд. не ЕӨ	140–200	1	9	0.07	T-15, M-42	24	0.13	C-2
			4	8	0.13		23	0.15	
			8	6	0.18		—	—	
	Ст не Ұс	240–310	1	8	0.05	T-15, M-42	20	0.13	C-2
			4	6	0.10		18	0.15	
			8	5	0.15		—	—	
Ni-W1	Күйд. не ЕӨ	200–300	1	8	0.10	T-15, M-42	—	—	—
			4	6	0.15		—	—	
			8	—	—		—	—	
	ЕӨ-Т	300–400	1	6	0.07	T-15, M-42	—	—	—
			4	5	0.13		—	—	
			8	—	—		—	—	
Co-W	ЕӨ	180–230	1	9	0.05	T-15, M-42	21	0.13	C-2
			4	8	0.07		20	0.13	
			8	6	0.1		—	—	
	ЕӨ-Т	270–320	1	5	0.05	T-15, M-42	18	0.13	C-2
			4	3	0.07		17	0.15	
			8	2.5	0.10		—	—	
Ni-C1	С не С-А	200–375	1	8	0.10	T-15, M-42	23	0.13	C-2
			4	6	0.15		21	0.15	
			8	5	0.20		—	—	

Жалғасы келесі бетте

Кесте 6.9 (Жалғасы)

Ыстыққа төзімді корытпа тобы	Жағдайы	БҚС	Кесу тереңдігі (мм)	ЖЖБ			Бөлінбеген индекстелетін карбидтер		
				v (м/мин)	f (мм/тіс)	Түрі	v (м/мин)	f (мм/тіс)	Түрі
Ni-W2	ЕӨ	225–300	1	6	0.1	T-15, M-42	—	—	—
			4	5	0.15		—	—	—
			8	—	—		—	—	—
	ЕӨ-Т	300–400	1	5	0.07	T-15, M-42	—	—	—
			4	3	0.13		—	—	—
			8	—	—		—	—	—
Co-C	Қ не Қ-Ұс	220–290	1	5	0.05	T-15, M-42	15	0.13	C-2
			4	3	0.07		14	0.15	C-2
			8	2.5	0.1		—	—	—
	Қ не Қ-Ұс	290–425	1	3.5	0.05	T-15, M-42	11	0.13	C-2
			4	2.5	0.05		8	0.15	C-2
			8	2.0	0.07		—	—	—
Ni-C2	Қ не Қ-Ұс	250–300	1	6	0.05	T-15, M-42	—	—	—
			4	3.5	0.05		—	—	—
			8	2.8	0.07		—	—	—
	Қ не Қ-Ұс	300–425	1	5	0.05	T-15, M-42	—	—	—
			4	3	0.05		—	—	—
			8	2.5	0.07		—	—	—
Ni-W3	ЕӨ	275–390	1	5	0.05	T-15, M-42	—	—	—
			4	3	0.07		—	—	—
			8	—	—		—	—	—
	ЕӨ-Т	290–425	1	3.5	0.05	T-15, M-42	—	—	—
			4	2.5	0.07		—	—	—
			8	—	—		—	—	—

6.1 кестеде келтірілген қысқартулар.
Берілген: Меткут[1]

Кесте 6.10 Ұсынылатын жылдамдық тез кесетін болатты пайдалана отырып ыстыққа төзімді ету, балкымаларды фрезерлеуге арналған плиталар-фрезалар

Ыстыққа төзімді қорытпа тобы	Жағдайы	БҚС	Кесу тереңдігі (мм)	Жылдамдық	Беріліс f	ЖЖБ-АТБИ
				v (м/мин)	(мм/тис)	
Ni-W5	R	180–200	1	32	0.10	M-2, M-7
			4	24	0.13	
			8	17	0.15	
Ni-W4	Күйд. не ЕӨ	140–200	1	8	0.10	T-15, M-42
			4	6	0.13	
			8	5	0.15	
	Ст не Үс	240–310	1	6	0.10	T-15, M-42
			4	5	0.13	
			8	—	—	
Ni-W1	Күйд. не ЕӨ	200–300	1	8	0.10	T-15, M-42
			4	6	0.13	
			8	5	0.15	
	ЕӨ or Вы	300–400	1	6	0.1	T-15, M-42
			4	5	0.1	
			8	—	—	
Ni-C1	Қ не Қ-Үс	200–375	1	6	0.10	T-15, M-42
			4	5	0.13	
			8	—	—	
Ni-W2	ЕӨ	225–300	1	6	0.10	T-15, M-42
			4	5	0.13	
			8	3	0.15	
	ЕӨ-Т	300–400	1	6	0.10	T-15, M-42
			4	5	0.13	
			8	—	—	

ӨЕ: өңделген ерітінді, Күйд: күйдірілген, ҚҚ: қалыпқа келтірілген, С: құйылған, Д: деформацияланған, Қ-Үс: құйылған және ұсталған, ӨЕ-Үс: өңделген және соғылған ерітінді, И: илектелген және Ст:суық тартылған.

6.3.6 Созу

Созу 1850 жылдың басында басталады, ол алғашқы кезде шпалдар мен редукторларда магистральдарды кесу үшін қабылданған. Алайда, оның айқын артықшылықтары төзімділікке әр түрлі беттер мен пішіндерді жаппай өндіру үшін оның дамуын тездетті. Бүгінде барлық ойлы формалар мен материалдар ашылуы мүмкін. Сондықтан да созу кеңінен қолданылады, өйткені қалақтардың күрделі контурларын және олармен байланысты газ турбиналарының бөлшектерін өңдеудің практикалық әдісі болып табылады.

Созу - бұл жылдам процесс, мұнда әрлеу және өңдеу жұмыстары бір құралдан өтеді. Алайда, бұл процесс саңырау тесіктер мен қалталар үшін мүмкін емес. Сонымен қатар, созылар өндірісте және қайрауда қымбат.

Ыстыққа төзімді қорытпаларды табысты тарту келесі маңызды ойларды талап етеді:

- * жоңқаға арналған жеткілікті беріктілік пен саңылауды қамтамасыз ететін созығыш конструкциясы;
- * тиісті күшпен біріктірілген қатты машина;
- * қатты құрал және дайындау;
- * дайындау туралы кесу жиегінің үйкелуін болдырмау;
- * мұқият май таңдау

Кесте 6.11 Кесудің номиналды жылдамдығы және аса жоғары мәні

Ыстыққа төзімді қорытпалар тобы	Жағдайы	БҚС	Жылдамдық (м/мин)	Бұрылыстың көтерілуі (мм/тіс)	ЖЖБ класы
Ni-W5	R	180–200	6	0.075	M-2, M-7
Fe-W	EӨ	180–230	3.5	0.05	T-15, M-42
	EӨ-T	250–320	3.0	0.05	T-15, M-42
Ni-W4	Күйд. не EӨ	140–220	3.0	0.05	T-15, M-42
	Ст-Үс	240–310	2.5	0.05	T-15, M-42
Ni-W1	Күйд. не EӨ	200–300	2.5	0.05	T-15, M-42
	EӨ-T	300–400	2.0	0.05	T-15, M-42
Co-W	EӨ	180–230	2.5	0.05	T-15, M-42
	EӨ-T	270–320	2.0	0.05	T-15, M-42
Ni-C1	Қ не Қ-Үс	200–375	2.5	0.05	T-15, M-42
Ni-W2	EӨ	225–300	2.5	0.05	T-15, M-42
	EӨ-T	300–400	2.0	0.05	T-15, M-42
Co C	Қ не Қ-Үс	220–290	2.5	0.05	T-15, M-42
	Қ не Қ-Үс	290–425	2.0	0.05	T-15, M-42
Ni-C2	Қ не Қ-Үс	250–320	2.5	0.05	T-15, M-42
	Қ не Қ-Үс	320–425	2.0	0.05	T-15, M-42
Ni-W3	EӨ	275–390	2.0	0.05	T-15, M-42

Ескерту: Қысқартулар б.1 кестеде берілген
Берілген: Меткут [1].

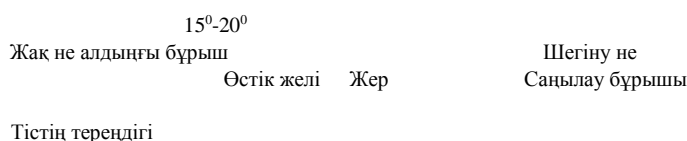
- дайындамаға шетінен үйкелеуді болдырмау;
- кесетін майды мұқият таңдау.

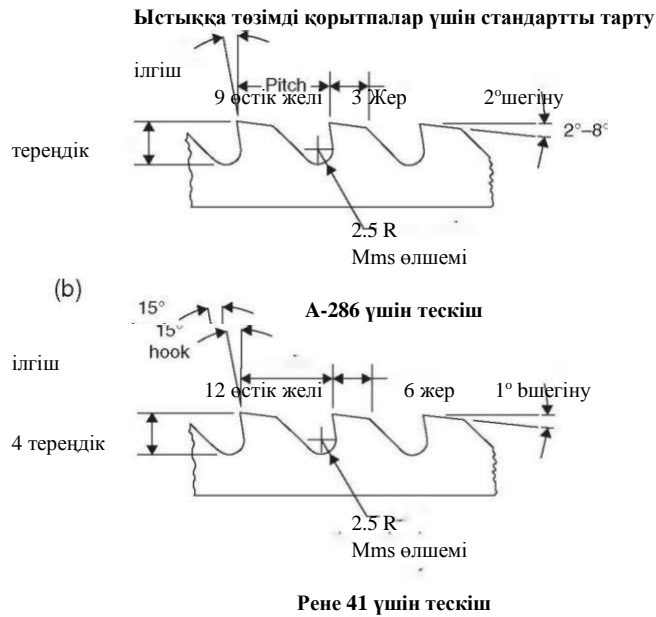
Құрал бұрыштары мен ойып алу нысаны қысқа, өзгертін тартпалардың пайда жоңқасын кесу және қалыптастыру кезінде ыстыққа төзімді қорытпалардың мінез-құлқына байланысты маңызды жобалық проблемалар болып табылады жинақ құнын қамтамасыз ете алады, сондай-ақ, үстіңгі әрлеу және дәлдік неғұрлым жақсы басқару ретінде. Тістің қадамы қажетті үлкен жоңқаның саңылауын қамтамасыз ету үшін тегіс көміртекті және төмен қоспаланған болаттарды өңдеуге қарағанда 25% - ға артық болуы керек.

Үлкен кадам, сондай-ақ ілініс тістердің санын азайту есебінен жалпы жүктемені азайтады. Сол қажетті қорды жою үшін, жиынтыққа ұзын немесе ұзағырақ созылғыларды пайдалану қажет. Алдыңғы бұрыш максимум 15 ° - ге ұлғайтылуы мүмкін, бұл жоңқаның еркін ағынына ықпал етеді және беріктендіру әсерін азайтады. Ең жоғары ықтимал шығару бұрышын қамтамасыз ете отырып, үйкеліспен контактіні болдырмау керек [7]. БРС-созғышты пайдалана отырып созу үшін биіктіктердің номиналды жылдамдығы мен ауытқулары (жоңқаға түсетін жүктеме) 6.11-кестеде келтірілген.

Орнатылған кескіш жиектермен салыстырғанда қатты созғышты таңдау созғыштың көлемі мен конструкциясына, сондай-ақ құнына байланысты. Құны әдетте шешуші фактор болып табылады. Көптеген қолдануларда, әсіресе үлкен созылулар жағдайында, құны қоспаланған болаттан жасалған корпуста БРС ендірмелерін пайдалана отырып азайтылуы мүмкін. Тартпалар тұтас немесе ендірме бар ма, бұл олардың өнімділігіне әсер етпеуі тиіс [2].

6.7 сурет БРС тартқыштарының үш түрлі құрылымындағы құралдардың геометриясын бейнелейді. Ыстыққа төзімді қорытпаларға арналған бірінші стандартты созу (сурет. 6.7 а). Екінші және үшінші - А-286 үшін арнайы әзірленген созғылар (6.7 В сурет), ал соңғысы Рене 41 (6.7 с сурет) созуға арналған, олардың барлығы БРС жасалған.





Сурет 6.7 Ыстыққа төзімді қорытпаларға арналған БРС-созғыштың үш түрлі конструкцияларының аспабының геометриясы: (а) ыстыққа төзімді қорытпалар үшін стандартты созу; (б) А-286 үшін созығыш; (с) Rene 41 үшін созығыш. (Бейімделген және құрастырылған: Metcut [1], және МНВ 16 [2].)

6.3.7 Ұсақтау

Ыстыққа төзімді қорытпаларды, әдетте, аз легирленген болаттарға карағанда, тегістеу қиын және қымбат. Атап айтқанда, NI және Co-негіз негізіндегі ыстыққа төзімді қорытпаларды ұсақтаудың ыстығына, металлургиялық өзгерістерге және микрожарғыштарға сезімтал болып табылады, олар айтарлықтай қалыңдықта болады, бұл компонент бетінің бүтіндігінің зиянды әсеріне әкеледі. Сондықтан ыстыққа төзімді қорытпаларды тегістеу кезінде өндеу параметрлері беттің оңтайлы тұтастығына жету үшін тұрақты болуы тиіс.

6.3.7.1 Ажарлауыш шарықтың мәнін таңдау

Корунд дөңгелектері көптеген ыстыққа төзімді қорытпалар үшін таңдалған, бірақ кейбір прецизиялық қолданулар үшін БКН тегістегіш дөңгелектері қолданылады. Тегістеу операциясының түріне байланысты көптеген ыстыққа төзімді қорытпалар орташа қаттылық дөңгелектерін (F бастап L дейін).

Кесте 6.12 Ыстыққа төзімді қорытпаларды беттік тегістеу үшін ұсынылатын өндеу шарттары

Жұмыс материалы	БҚС	Пм-белгілеу	ПМ-жылдамдық vs (м/мин)	Беру	
				жылдамдығы vw (м/мин)	Көлденең беру: GW үлесі-ені / өту
Ыстыққа төзімді қорытпалардың барлық түрлері	140–475	A-46-H-V	900–1200	15–30	1/12

Төменге беру: 25 мкм, ал соңғы өндеу = 12 мкм, тегістеу сұйықтықтары: су негізінде еритін-майлы эмульсия немесе сульфатталған май.

Берілген: Metcut Associates [1]

Кесте 6.13 Ыстыққа төзімді қорытпаларды сыртқы цилиндрлік тегістеу үшін ұсынылатын өңдеу шарттары

Жұмыс материалы	БҚС	Пм-белгілеу	ПМ-жылдамдық vs (м/мин)	Беру (мкм) / өткізу	
				Бастапқы өңдеу	Таза өңдеу
Ыстыққа төзімді қорытпалардың барлық түрлері	140–475	A-60-J-V	900–1200	25	5

Жұмыс жылдамдығы: 15-30 м/мин, траверсаны беру жылдамдығы: 0,2 Квт-ені / об (бастапқы өңдеу). 0,1 Квт-ені / об (таза өңдеу), ұнтақтауға арналған сұйықтық: еритін майдың суда еритін эмульсиясы немесе сульфатталған май.

Берілген: Metcut Associates [1]

Бетті тегістеуіш доңғалақты (H), ішкі тегістеу үшін (F/G), ал сыртқы цилиндрлік тегістеу кезінде (J K/л) тегістеу доңғалағына артықшылық беріледі.

Доңғалақтардың белгілері мұнда конструкция нөмірсіз келтірілген. Шыны тәрізді байламда тегістеу шеңберлері (V белгіленеді) ыстыққа төзімді қорытпаларды тегістеу үшін жиі қолданылады. Алайда, (B) резинидты байланысы бар дискілер жоғары жылдамдықты ажарлау шеңберлері үшін (> 1400 м/мин) және резинидпен байланысты БКН дискілерімен жиі қолданылады.

6.12-кесте шыныланған байланыстырушы шеңберлерді пайдалана отырып, ыстыққа төзімді қорытпалардың барлық типтерін беттік тегістеу кезінде ұсынылатын өңдеу шарттарын суреттейді, ал 6.13-кесте сыртқы цилиндрлік тегістеу үшін сол сияқты суреттейді.

Әдебиетке сілтеме

- [1] Machinability Data Center (1980) *Machining Data Handbook*, 3rd edn, Cincinnati, OH, Metcut Research ATBBociates.
- [2] AMQ International (1989) *Metals Handbook: Machining*, 19th edn, Vol. **16**, AMQ International, Materials Park, OH.
- [3] High Performance Alloys, Inc. [http://www.hpallloy.com/alloysdescriptions/Machinability Ratings.html](http://www.hpallloy.com/alloysdescriptions/Machinability%20Ratings.html) (accessed November 30, 2011).
- [4] All Metals & Forge Group [http://Steelforge/machinability ratings.html](http://Steelforge/machinability%20ratings.html) (accessed November 30, 2011).
- [5] Sandvik (2013) *Workpiece Materials-ISO-S HRSA Titanium*.
- [6] Seco (2014) *Technical Guide, Turning Difficult-To-Machine Alloys*.
- [7] M.J. Donachie, S.J. (2002) *Donachie A Technical Guide*, 2nd edn, pp. 189-194.

7

Дәстүрлі емес өңдеу процестері - шолу

7.1 Дәстүрлі емес өңдеу процестері

Механикалық өңдеудің дәстүрлі емес процестері (МӨДеП) қазіргі қоғамның өсіп келе жатқан қажеттіліктеріне сәйкес дамыды. Жаңа өндірістік проблемаларды жасаған өнертабыстардың бірі трансатмосфералық көлік құралдары болып табылады және бұл қозғалтқыштың жұмыс температурасы мен ұшақ қаптамасын жақсарту қажеттілігін қанағаттандыру үшін материалдарды үнемі жетілдіруді талап етті. Технологиялық әзірлемелер металл матрицасы бар композиттер (ММК), керамика, тот баспайтын болат, ыстыққа төзімді плавтар және тиімділігі жоғары полимерлер сияқты қиын өңделетін материалдарды жасауға мүмкіндік берді. Осы және басқа да жаңа материалдарды өңдеу күрделілігі олардың жоғары қаттылығы мен сынғыштығына, жоғары баяу балқымалдылығына, төмен жылу өткізгіштігіне, кесетін құралмен химиялық реакциялық қабілеттілігіне және микроқұрылымдардың біртектілігіне байланысты. Көптеген жағдайларда мұндай материалдарды өңдеудің жалғыз тиімді тәсілі дәстүрлі емес процестер болып табылады. Бүгін материалды жою үшін пайдаланылатын дәстүрлі өңдеу процестері (ДӨП) негізінен ұсақтау процесін орындау үшін қатты құрал-сайман материалдарына сүйенеді. ДӨП, МӨДеП-ден айырмашылығы материалды алып тастау электрохимиялық реакция, жоғары температуралы плазмалық бумалар, қуатты электрлік ұшқындар және сұйықтықтар мен абразивтердің жоғары жылдамдықты ағындары арқылы жүзеге асырылады. Бұрын өңдеу үшін өте қиын болған материалдар енді магниттік өрістер арқылы қалыптасады. Өңдеу мүмкіндіктері жоғары жиілікті дыбыс толқындары мен электрондар шоғыры мен лазерлердің когерентті жарығын пайдалана отырып кеңейтілді.

МӨДеП материалдық жоюда қолданылатын энергия түріне сәйкес жіктелген. Олар үш негізгі топқа бөлінеді (7.1 кесте):

1. *Механикалық процесс*: оларда материалды алып тастау механикалық үйкелуге немесе жылжытуға байланысты.

7.1 кесте іргелі энергия типі бойынша МӨДеП жіктелуі

Іргелі энергия	Түсіру механизмі	МӨДеП
Механикалық	Үйкеліс, жылжу	АСО, ГАӨ, УДӨ, MFM, AFM
Химиялық	Анодты ерітудің абляциялық	СН milling, ФХП
Электрхимиялық	реакциясы (өңдеу)	ЕСМ, ЕСТ, ЕСД
Термоэлектрлік	Балку және бу түзілімдері	ЭЭӨ, ЛСӨ, ЭСӨ, IBM, PBM (РАС)

2. *Химиялық және электрохимиялық процестер*: материалдар қабаттарда абляциялық реакция жолымен жойылады, онда қышқылдар немесе сілтілер улағыш ретінде пайдаланылады. Электрохимиялық өңдеу (ЭХӨ) жоғары шығару жылдамдығымен сипатталады. Механикалық өңдеу ұяшығында жоғары тығыздықты тұрақты токтың өтуіне байланысты анодты ерітумен (АЕ) байланысты.

3. *Термоэлектрлік процестер*: оларда металды жою жылдамдығы жұмыс материалының балкуы мен булануына әкелетін басқарылатын және оқшауландырылған күш импульстері түрінде әрекет ететін жылу энергиясына байланысты.

Маңызды және соңғы өңдеу гибриді өңдеу процестерін (ГӨП) қабылдау жолымен жүзеге асырылды. Олар бір немесе бірнеше МӨДеП және ДӨП бар бір МӨДеП біріктіру арқылы жасалады өнімділігін арттыру және гибриді процесті (ГП) жою жылдамдығын арттыру. Бұл үдерістердің мысалдары электрохимиялық тегістеу (ЭХТ) және абразивті-су ағынды өңдеу (АСАӨ) болып табылады.

7.2 Механикалық дәстүрлі емес процестер

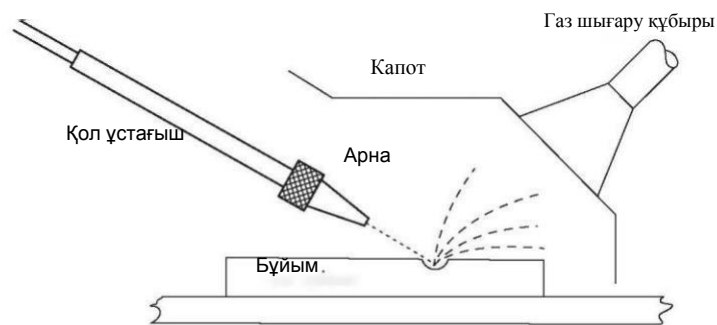
7.2.1 Ағынды өңдеу

Ағынды өңдеу (АӨ) механикалық уатудан өңдеуге арналған жоғары энергетикалық ағындарды пайдалануға негізделген үш процесті қамтиды. Бұл абразивті-ағынды өңдеу (ААӨ), су ағынды өңдеу (САӨ) және ГП АСАӨ.

7.2.1.1 Абразивті-ағынды өңдеу

ААӨ-де абразивтің жұқа ағыны 1-ден 9 барға дейінгі қысыммен арнайы арналар (CO_2 , N_2 немесе ауа) арқылы өтеді. Осылайша, абразивтер соққы күшін қоса және дайындамаларды (максатты материалды) механикалық үдетуді тудыра отырып, 150-ден 350 м / с дейінгі диапазонда жоғары жылдамдыққа жетеді. Дайындама ауытқудың арақашықтығы (ААҚ) деп аталатын қашықтықта орналасқан. ААӨ, Al_2O_3 немесе SiC-те 10-дан 80 мкм-ге дейін түйіршікті абразивтер қолданылады (сурет. 7.1). Арналар әдетте вольфрам карбидтерінен (WCs) немесе диаметрі 0,2-2 мм синтетикалық сапфирлерден жасалады. Алау жануын шектеу үшін форсункаларда көлемі 0,1 x 0,5-тен 0,18 x 3 мм дейінгі тікбұрышты тесіктер болуы мүмкін. Ағынның оңтайлы бұрышы өңделетін материалдың иілгіштігіне немесе сынуына байланысты анықталады.

Бұл процесс сусымалы материалдарды жоюға арналмаған. Шыны, кварц және керамика сияқты неғұрлым нәзік материалдарды өңдеу кезінде оны жою жылдамдығы 30 мг / мин шамасында құрайды, ал жұмсақ және пластикалық материалдарды өңдеу кезінде осы мәннің аз ғана үлесіне қол жеткізіледі.



Сурет 7.1 ААӨ -баптау. (Берілген: деректерді өңдеу орталығы [1].)

Шектеулі жою жылдамдығы, сондай-ақ елеулі конус, ААӨ терең тесіктер мен қуыстарды өңдеу үшін жарамды емес. Дегенмен, процесс шағын қалыңдықтағы табақтарда тесіктер мен профильдерді өндіруге қабілетті. ААӨ кесу, ұзына бойы кесу, бетін тазалау, жылтырату және жылтырату үшін қолданылады [2].

Материалды жою жылдамдығы (МЖЖ) және дәлдік тұрғысынан ААӨ өнімділігі таңдалған өңдеу шарттарына байланысты. МЖЖ -ге негізінен арнадағы газ қысымына, арнаның диаметріне, абразив пен ААҚ тығыздығына байланысты абразивтің кинетикалық энергиясы әсер етеді. Дәлдік МЖЖ азайтады ұсақ ААҚ іріктеу арқылы артады. Астық мөлшері бетінің сапасын анықтау үшін шешуші фактор болып табылады.

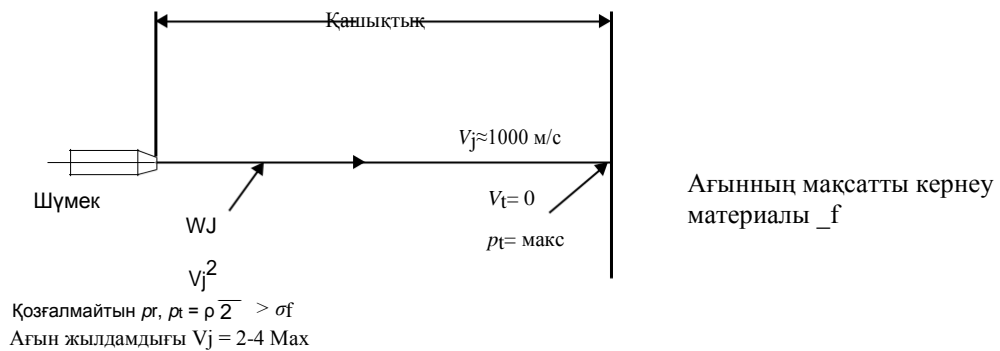
ААӨ станциясы ластануды шектеу үшін вакуумдық шаң жинағышпен жабдықталуы тиіс. Қатаң шаралар мен сақтық шаралары пайда болатын шаң мен қоқыстарды жинау, сондай-ақ жылтырату үшін бериллий сияқты уытты материалдарды өндеген жағдайда қолданылуы тиіс.

ААӨ артықшылықтары қамтиды: Процесс қатты және нәзік материалдарда күрделіформаларды өндіруге қабілетті. Жұқа қабырғалардың нәзік материалдарын кесу үшін қолданылады. ААӨ бетін тазалау үшін пайдалануға болады, әсіресе жету қиын жерлерде. ААӨ тазартудан кейін алынған беттер жоғары тозуға төзімді. Ақырында, ол төмен капитал салымдарымен және төмен энергия тұтынумен сипатталады.

ААӨ шектеулері қамтиды: ААӨ жұмсақ материалдармен өндеуге ұсынылмайды. Абразивтерді қайта қолдануға болмайды, өйткені олар өз өткірлігін жоғалтады. $dg < 10 / \text{gm}$ ұсақ дәндерін пайдаланған кезде арнаның бітелуі орын алады. Процестің дәлдігі абразивті ағынның әсерінен төмен. Арнаның шамадан тыс тозуы қосымша шығындарды тудырады және процесс қоршаған ортаны ластау үрдісіне ие.

7.2.1.2 Гидроабразивті өңдеу

ГАӨ Pb, Al, Cu, Ti, болат және гранитті қоса алғанда, материалдардың кең спектрі үшін қолданылды. Су ағынын болат пен гранит тілуі мүмкін деп сену қиын. Алайда, ғылыми тұрғыда бұл 7.2-суретте көрсетілгендей түсіндіріледі.



Сурет 7.2 ГАӨ кесу принципі. (Youssefetal. [3].)

Су ағыны жоғары қысымда (2000-8000 бар) түсіп жатқан арна арқылы қозғалғанда, ол мақсаттан 600-1400 м/с жоғары жылдамдықпен когерентті су ағынын береді. Кинетикалық энергия (КЭ) ағындар өздігінен жоғары қысымды энергияға айналады, нысананың материалы ағынының күшінен асатын шырынды кернеуді тудырып, механикалық уытуды туындатады.

ГАӨ аппараты үш станциядан тұрады. Бұл көп сатылы сүзу станциясы, күшейту станциясы және арналарды кесу станциясы. Арна оңтайлы кесу үшін когерентті су ағынын қамтамасыз етеді. Ағынды когеренттілік полиэтиленоксиді (ПЭО) сияқты ұзын нүктелі полимерлерді қо су арқылы жақсаруы мүмкін. Мұндай қосу судың жоғары тұтқырлығын қамтамасыз етеді және, демек, когерентті ұзындығын 600 dp-ге дейін арттырады, мұнда dp- арна тесігінің диаметрі, ол 0,1-ден 0,35 мм-ге дейін құрайды. Тіпті осы ауқымнан тыс ағын әлі де тазалау, жылтырату немесе майсыздандыру сияқты кесусіз операцияларды орындауға қабілетті.

Арналар, әдетте, дәретхана, синтетикалық сапфир немесе алмаз сияқты өте қатты материалдардан жасалады. Алмаз форсунканың ең ұзақ қызмет ету мерзімін қамтамасыз етеді, ал WC - ең төмен. Синтетикалық сапфирдің шоғырынан шамамен 200 сағат жұмыс күтілуде. Кесу станциясы механикалық қоқыстарды жинауға арналған резервуар ретінде жұмыс істейтін аулағышпен жабдықталуы тиіс. Сонымен қатар, ол кесу кейін тыныштық энергиясын жұтады, ол бағаланады 90% жалпы энергия ағын. Бұл шудың деңгейін (105 дБ), су ағынын 3 max-тан дыбысты деңгейге дейін азайтуға байланысты төмендетеді.

Процесс мүмкіншіліктері

МЖЖ, беттің дәлдігі мен сапасына бұйым материалы мен өңдеу параметрлері әсер етеді. Нәзік материалдар жойылады, ал пластикалық - жақсы кесіледі. Кесу сапасы жоғары қысымда және аз қозғалу жылдамдығында жақсарады. Мұндай жағдайларда үлкен қалыңдықтар қысқартылуы мүмкін.

ГАӨ аэроғарыштық өнеркәсіпте қолданылатын металдар мен композиттерді кесу және кеме жасау өнеркәсібі үшін су асты кесу кезінде қолданылады. Ол ағаш, қағаз, мата, тері, резеңке және пластмасса сияқты жұмсақ материалдарды, сондай-ақ тастар, гранит және мәрмәр сияқты қатты материалдарды кесу үшін өте қолайлы. Ол сондай-ақ мұздатылған өнімдер мен етті кесу және өңдеу үшін қолданылады. Мұндай жағдайларда судың орнына спирт, глицерин және өсімдік майлары қолданылады. ГАӨ сондай-ақ тазалау, жылтырату және майсыздандыру және ядролық ластануды жою үшін қолданылады.

Басқа кесу әдістері бойынша ГАӨ артықшылықтары: іс жүзінде материалдың барлық түрлері тіпті күрделі контурлармен кез келген түрлі механикалық, термиялық немесе химиялық әсерсіз жақсы сапамен кесілуі мүмкін.

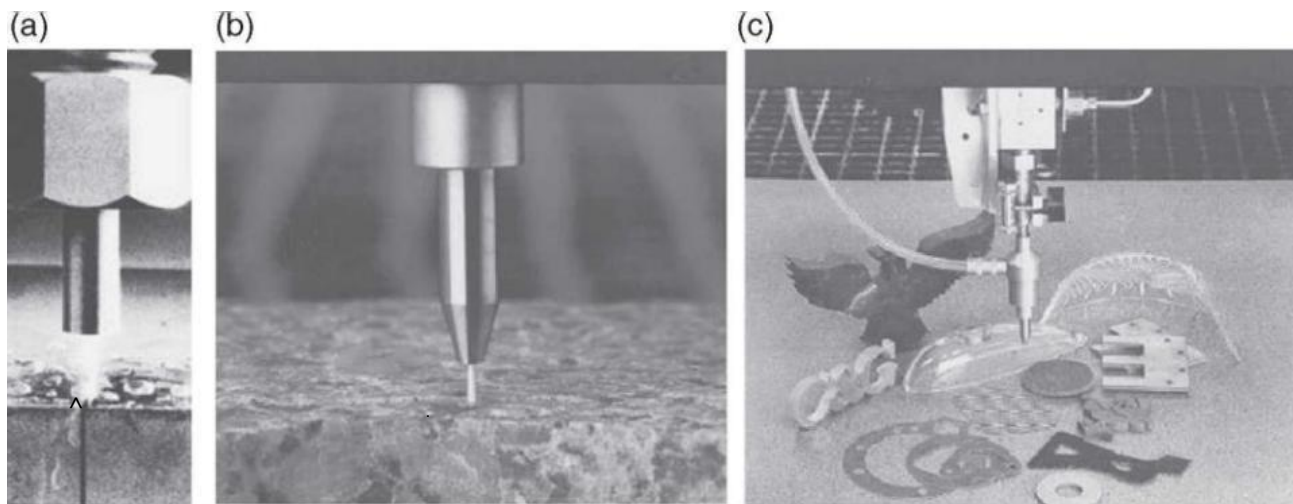
ГАӨ кемшіліктері мыналарды қамтиды: ГАӨ қауіпсіздік шаралары қатаң сақталмаған жағдайда қауіпсіз емес. Процесс станоктың жоғары күрделі құнының және жоғары білікті операторларға қажеттіліктің салдарынан өндірістің жоғары өзіндік құнымен сипатталады.

7.2.1.3 Абразивті-су ағынды өңдеу

АСАӨ - бұл ГП, өйткені ол ААӨ және ГАӨ үрдістерінің интеграциясы болып табылады. Абразивтерді су ағынына қосу су ағынымен кесуге болатын бірқатар материалдарды ұлғайтады және МЖЖ осы ГП арттырады. Сондықтан МЖЖ Абразив пен су ағынындағы кинетикалық энергияны пайдалануға негізделген. АСАӨ процесі ГАӨ жүзеге асырылатын солмен салыстырғанда жоғары жылдамдықта жұмсақ және қатты материалдарды өңдеуге қабілетті. Сонымен қатар, АСАӨ орындалған кесінділер шеті мен бетінің ең жақсы сапасы бар.

АСАӨ ГАӨ қарағанда салыстырмалы төмен су қысымын пайдаланады (шамамен 80%). Ішекте абразивті сумен араластыру коэффициенті көлемі бойынша шамамен 3/7 құрайды. Жиі 10-180 мкм астық мөлшері абразивтер (гранат, құм, Al_2O_3 және т.б.) қолданылады. Бұрын айтылғандай, өте жоғары жылдамдықта жұмсақ және қатты материалдарды өңдеу мүмкіндіктерінен басқа, АСАӨ процесі ГАӨ сияқты артықшылықтарға ие. Алайда, ағында абразивтердің болуына байланысты машина мен оның элементтерінің шамадан тыс тозуы орын алады. Сонымен қатар, процесс ГАӨ салыстырғанда экологиялық қауіпсіз емес.

АСАӨ процесі негізінен Cu, Al, Pb, Mo, Ti және W, карбид, керамика, мәрмәр, гранит, пластмасса, асбест, композиттер, тот баспайтын болат, ыстыққа төзімді қорытпалар, акрил және шыны сияқты металл материалдарды кесу үшін қолданылады. (7.3 сурет). АСАӨ өңдеу технологиясы саласында екі көп перспективалы қолдану бар, оның ішінде АСАӨ көмегімен тегіс беттерді фрезерлеу және цилиндрлік қалыптарды токарлық өңдеу. АСАӨ жабдығы негізгі ГАӨ-ден өзгеше емес. Дегенмен, АСАӨ кесу станциясы арнаның орнына ағынды қалыптастырғышпен жабдықталған.



Сурет 7.3 АСАӨ көмегімен кесу: (а) қалыңдығы 25 мм көміртекті болат, (б) мәрмәр және (в) пластик пенасбест. (Ұсынылды: (а) ESAP Automation Ltd, Andover, and (b,c) Ingersoll-Rand [3].)

7.2 кесте. АСАӨ әр түрлі материалдарды өңдеу кезінде жылжыту жылдамдығы (мм / мин)

Материалдар	Материал қалыңдығы				
	6 мм	15 мм	19 мм	25 мм	50 мм
Титан	250	150	100	50	16
Алюминий	250	150	100	50	16
Күшейтілген пластмасса	500	280	130	75	25
Тот баспайтын болат	200	90	60	40	15
Әйнек	2000	1000	700	500	150

Берілген: Юсеф [4].

Процесс мүмкіншіліктері

АСАӨ процесіне әсер ететін типтік айнымалы өңдеу су қысымын, арна диаметрін, фокустаушы түтік геометриясын (ұзындығы мен диаметрі), ҚАҚ, абразивті тегістеу өлшемі мен түрін, абразив / су арақатынасын, сондай-ақ дайындаманың қаттылығы мен беріктігін қамтиды.

АСА шыны өңдеу кезінде кесу жылдамдығы шамамен 16-20 м³/мин жетеді. Болат пластиналарды (немесе металл материалдарды) кесу кезінде Rt бетінің кедір-бұдырлығы 3,8-ден 6,4 ПМ-ге дейін ауытқиды, ал ±130 ПМ рұқсатнамалар қол жеткізуге болады. ҚАҚ МЖЖ және қол жеткізілген дәлдікке маңызды әсер етеді. Ол 0,5-тен 5 мм-ге дейінгі мәндерге жетеді. Ең аз мән ең жоғары дәлдікті және ең аз таралуын қамтамасыз етеді, ал ең үлкен мән ең жоғары МЖЖ қамтамасыз етеді. 5 мм тыс ағын біртіндеп 50-80 мм дейін кесетін қабілетін жоғалтады, бұл кезде ағын бетін тазалау және нығайту үшін тиімді пайдаланылады. 7.2-кесте АСА пайдаланып түрлі қалыңдықтағы материалдарды кесу кезінде орын ауыстыру жылдамдығын бейнелейді. Таза металдар (Ti, Al) бірдей өңделеді, ал шыны металдар мен қорытпаларға қарағанда 8-10 есе жылдам кесіледі.

7.2.2 Абразивті-ағынды өңдеу

Абразивті-ағынды өңдеу (ААӨ) - бұл таза механикалық процесс, бұл кезде беті мен жиектері қысыммен, дайындау арқылы немесе арқылы өтетін тұтқыр абразивті ортаны сығу арқылы өңделеді. Үйкеліс орта ағыны шектелген кезде ғана орын алады. ААӨ қабыршақтар, жылтырату, жиектер радиусы, қалпына келтірілген қабаттарды жою, қысу кезінде қалдық кернеуді азайту және тегіс беттерді қамтамасыз ету үшін қолданылады. Процесс аса маңызды аэроғарыштық және медициналық компоненттерден бастап бөлшектер өндірісінің үлкен көлеміне дейін қолданудың кең спектрін қамтиды. Ол сағатына жүздеген немесе тіпті мың бөлшектерге дейін өнімділікті бере алады [1, 4]. Бұл материалды алып тастаудың жаппай процесі емес, бірақ бұл қол жетпейтін ішкі арналар мен жету қиын жерлерді жылтырату немесе жою үшін әсіресе пайдалы. Жұмсақ алюминий қатты никель негізіндегі материалдар, ыстыққа төзімді қорытпалар ААӨ-мен өңделеді. Диаметрі 0,4 мм кем тесіктер кейде ААӨ арқылы өңдеу қиын. Саңырау тесіктерді жылтырату орынсыз, өйткені ААӨ ағымдағы ортаны талап етеді [4].

Абразивтердің көптеген түрлері ААӨ-де қолданылған. Негізінен, В4С және SiC, алайда, кейде Al₂O₃ қолданылады. Ортаның тұтқырлығы уатылуға жататын шектейтін арналардың мөлшеріне тікелей байланысты. Ең абразивті әсер, егер тесік өлшемін немесе бағытын өзгертсе, процесс кезінде орын алады. Шын мәнінде, тұтқырлығы экструзиялық үлгідегі ағынын ұстап тұру үшін жеткілікті жоғары және абразивті астықты дайындаманың ең сыртқы бетінде жеткілікті күшпен ұстап тұру үшін абразивтерге шектеу өту жолының шеттері мен бетін кесуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, тасымалдаушы қолайлы цикл уақытында операцияны орындау үшін ақылға қонымды жылдамдықпен ағу үшін жеткілікті жұмсақ болуы керек.

7.2.2.1 МЖЖ ААӨ әсер ететін параметрлер

- * Тұтқыр орта ағынының жылдамдығы
- * Ортаның тұтқырлығы
- * Абразивті бөлшектер мөлшері
- * Абразив концентрациясы
- * Бөлшектердің қаттылығы
- * Жұмыс материалының қаттылығы.

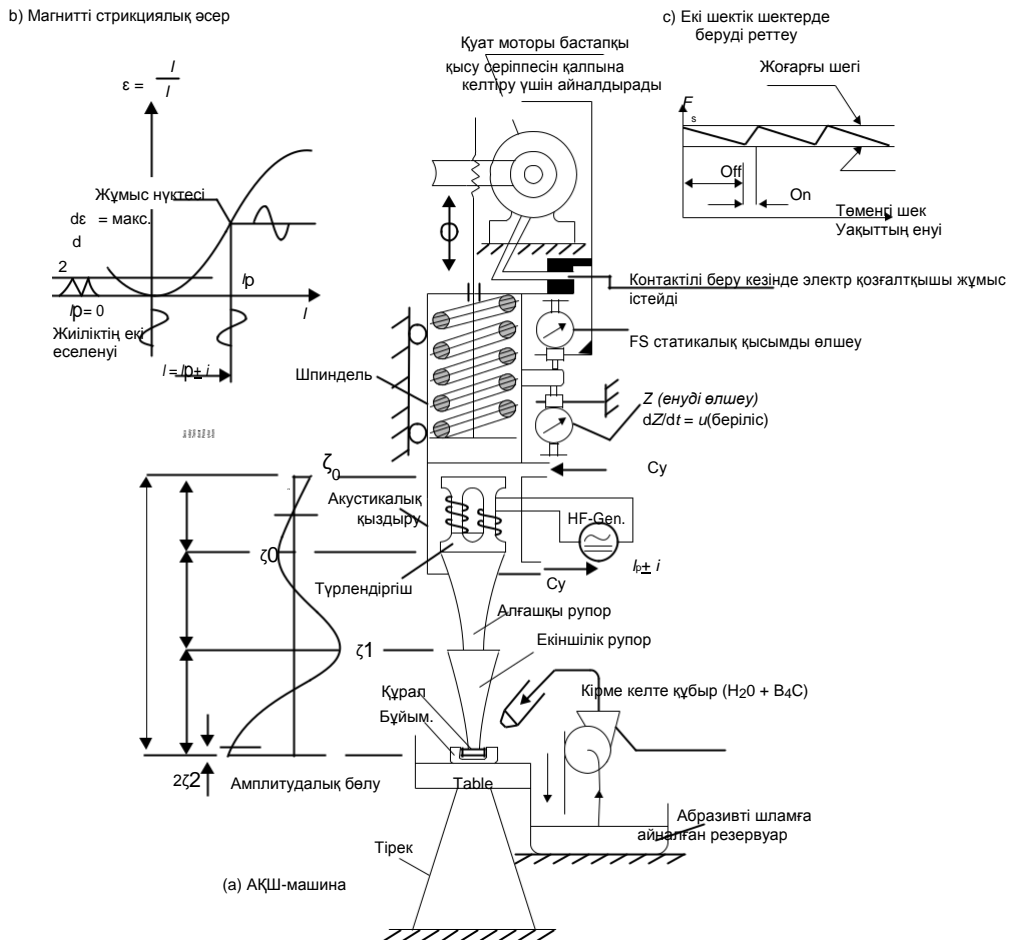
7.2.2.2 ААӨ артықшылықтары

- * ААӨ кез келген қиын өңделетін материалдарға қолданылуы мүмкін
- * Материал максатты және жету қиын жерлерден алынуы мүмкін
- * Тасымалдағыштар қосымша талаптарына сәйкес жобалануы мүмкін
- * ААӨ ауа, газ немесе сұйықтық ағынының әрекетін жақсартады, кавитация үрдісін азайтады.

7.2.3 Ультрадыбыстық өңдеу

Ультрадыбыстық өңдеу (УДӨ) - бұл экономикалық тиімді операция, ол кезде электр өткізгіш немесе жоқ болса да, осьтік тербелістері бар құралды пайдалана отырып тесік немесе қуысты қатты және нәзік материалдарда тесуге болады. Құрал қажетсіз шуды болдырмау үшін (адам құлағының дыбыстық шегі 16 кГц құрайды) 18-40 кГц жоғары жиіліктерде 10-50 мкм аз амплитудамен ауытқиды. Аспаптың тербеліс кезінде абразивті суспензия (B_4C немесе SiC) тербеліс құралы мен қозғалмайтын WP арасындағы жұмыс саңылауына үздіксіз беріледі. Демек, абразивті бөлшектер WP бетіне құралмен соғылады, және, демек, олар WP құрал формасының жанаспалы бейнесі түрінде жойылады. Бұдан басқа, аспапта құрал ұштығының мөлшеріне байланысты 1 Н-ден бірнеше килограмға дейінгі диапазонда статикалық күш әрекет етеді (7.4 сурет). Статикалық қысым өңдеу кезінде құралды беруді қолдау үшін қажет. Процесс өнімділігі уақыт бірлігінде (жиілігі) көп соққыға жетеді, ал дәлдік тербелістердің аз амплитудасы жетеді. Әдетте салыстырмалы жұмсақ материалдан жасалған құралдың ұшы, сондай-ақ абразивтер тудырған абразивті әсерге ұшырайды; осылайша, ол өңделген тесіктер мен қуыстардың дәлдігіне әсер ететін тозудан зардап шегеді. Процесс бұйым металл құрылымына қандай да бір зиянды немесе термиялық әсерлердің болмауымен сипатталады. Алайда, УДӨ процессіне келесі кемшіліктер кедергі келтіреді:

- * УДӨ 25-30 мм астам бүйірлік кеңейтімі бар тесіктер мен қуыстарды өңдеуге қабілетті емес
- * Құрал болат және карбид сияқты қатты материалдарды өңдеу кезінде шамадан тыс фронтальды және бүйірлік тозудан зардап шегеді. Бүйірлік тозу тесіктер мен қуыстардың дәлдігін нашарлатады.
- * Әр жұмыс үшін қымбат құрал қажет, ол өңдеу құнын арттырады.



Сурет 7.4. УДӨ тік жабдығының сызбасы: (а) УД-машина; (б) магнитострикциялық әсер; (с) екі шектің арасындағы беруді реттеу. (Юсефтан берілген [4].)

* Саңырау тесіктер болған жағдайда жобалаушы өткір бұрыштарға жол бермеуі керек, себебі олар УДӨ шығара алмайды.

* Абразивті суспензия тозған абразивтерден құтылу үшін үнемі өзгеруі керек, бұл қосымша шығындарды білдіреді.

УДӨ-жабдықтың негізгі элементтері тербеліс жүйесін, беру механизмін және шлам жүйесін құрайды (7.4 сурет). Тербеліс жүйесі акустикалық бастағы түрлендіргішті, бастапқы акустикалық рупор мен екінші акустикалық рупорды қамтиды.

7.2.3.1 Түрлендіргіш және магнитстрикциондық әсер

Түрлендіргіш электр энергиясын механикалық энергияға тербеліс түрінде түрлендіреді. Магнитстрикциялық түрлендіргіштер әдетте УДӨ қолданылады, бірақ пьезоэлектрлік де қолданылуы мүмкін. Осы әсерге сәйкес, ферромагнитті металдар мен қорытпалар қоса берілген магнит өрісінің қатысуымен ұзындығы бойынша өзгереді. F американдық жиіліктегі электр сигналы магнит өткізгіштің материалынан (темір-никель қорытпасы) жасалған тірекке оралған катушкаға беріледі. Бұл стек құйынды токтар мен гистерезис шығындарын азайту үшін ламинаттардан жасалған; бұдан басқа, ол генерацияланатын жылуды бөлу үшін суытылуы тиіс (7.4 а сурет).

ВЧ-айнымалы ток генераторы жасайтын айнымалы магнит өрісі сол жиілікте кеңейтуге және қысуға мәжбүрлейді. Магнитстрикцияның максималды әсеріне жету үшін ВЧ -айнымалы ток i тогы оңтайлы жұмыс нүктесіне жету үшін нақты реттелуге тиіс I_p алдын ала магниттендірудің тиісті тұрақты тогына салынуы тиіс. Бұл нүкте иілу нүктесіне

($d^2e/dl^2 = 0$) магнитострикциялық қисыққа сәйкес келеді (сурет 7.4 б). Алдын ала магнитті тұрақты ток келесі функцияларға ие:

- * Дәл реттеу кезінде ол магнитострикцияның максималды әсерін қамтамасыз етеді (максималды тербелмелі амплитудалар).
- * Бұл екі есе жиілік құбылысын болдырмайды.

Егер айнымалы ток сигналының жиілігі, демек, магнит өрісінің жиілігі түрлендіргіштің меншікті жиілігі (және барлық тербелмелі жүйе) сияқты тең болса, онда ол механикалық резонанста болады, онда амплитуданың қорытынды тербелісі жеткілікті үлкен болады, ал қозу қуаты өзінің ең төменгі мәніне жетеді. Резонанстың қажетті шарты, егер l түрлендіргіштің ұзындығы X толқын ұзындығының жартысына тең болса (немесе оң бүтін сан n) іске

$$l = \frac{n}{2} \lambda = \frac{\lambda}{2} \quad (if\ n=1)$$

және

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{1}{f} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}) \quad 1 \quad E^f_r \quad fr \setminus P$$

мұнда

c = магнитострикциялық материалдағы дыбыс жылдамдығы (м/с) f = резонанстық жиілік (1/с)
 E, ρ = Юнг модулі (МПа) және магнитострикциялық материалдың тығыздығы ($кг/м^3$).

Демек,

$$l = \frac{1}{2f} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

7.2.3.2 Акустикалық мүйізшелер (механикалық күшейткіштер немесе концентраторлар)

Алынған магнитострикционного түрлендіргіштің амплитудасы ξ , о 5 мкм аспайды, бұл тым аз үшін тиімді жылдамдық жою. Сондықтан аспаптағы амплитуданы түрлендіргіштің шығыс шетіне бір немесе ашылмаған күшейткіштерді орнату жолымен практикалық шектерге дейін 40-50 мкм ұлғайту керек (сурет 7.4 а). Резонансқа жету үшін түрлендіргіштер сияқты акустикалық сигналдар бір-біріне қатысты қарама-қарсы бағытта осьтік бағытта ауытқитын жартылай толқынды резонаторлар болуы тиіс. Тораптық нүктелер (нөлдік амплитудасы бар нүктелер $t, n = 0$) конустық концентраторлар жағдайында жоғарғы ұшына сәл ығыстырылған. 7.4-суретте каскадтық тербеліс жүйесінің бойлық осінің бойымен амплитудасының таралуы көрсетілген. Акустикалық рупорлар есебі мен құрылымы туралы толық ақпарат алу үшін оқырман сілтемелермен таныса алады [2, 4].

7.4 суретінде үйкеліссіз роликті бағыттағыштарды қолдану есебінен дәл жұмыс істейтін аспапты автоматты беру механизмі көрсетілген. Ортадан тепкіш сорғы жұмыс аймағына абразивті суспензияға қосымша қолданылады (сурет 7.4 а).

7.2.3.3 Процестің мүмкіншіліктері

Материалды жою жылдамдығы

УДӨ-де қорды жою жылдамдығы (ҚЖЖ) негізінен жұмыс материалына, құрал тербелісінің амплитудасы мен жиілігіне, абразив мөлшері мен түріне, статикалық қысымға және абразив концентрациясына (пульпадағы араластыру коэффициенті) байланысты. Жұмыс саңылауында шлам қоспасының тиімділігі материалды жою жылдамдығына (МЖЖ) айтарлықтай әсер етеді. Абразивті суспензияны берудің қарапайым тәсілі суспензия тікелей тербелмелі аспапта болатын арнаны беру жүйесі болып табылады. Рупордағы орталық тесік арқылы жұмыс саңылауынан айдау немесе сору неғұрлым тиімді режим болып табылады.

Өңдеудің ең жоғары жылдамдығы шыны, кварц, керамика және германий сияқты нәзік материалдарды өңдеу кезінде іске асырылады, ал өңдеудің ең төмен жылдамдығы қатты және шындалған болаттар мен карбидтерді өңдеу кезінде күтіледі. УДӨ деформация кезінде энергияны сіңіретін мыс, қорғасын, соғу болат және пластмасса сияқты жұмсақ және пластикалық материалдар үшін қолданылмайды.

Іс жүзінде тербеліс амплитудасы негізінен қолданылатын абразивті бөлшектердің мөлшеріне байланысты таңдалады. Ол құм мөлшері сияқты болуы үшін таңдалуы керек. МЖЖ тербеліс амплитудасы (немесе абразивті құм мөлшері) ұлғаяды. Амплитуданың ең жоғарғы мәні акустикалық рупор материалының барынша рұқсат етілген беріктігімен реттеледі.

Беткі қабаттың дәлдігі мен сапасы

Ультрадыбыспен алынатын тесіктер мен қуыстар бетінің дәлдігі мен сапасына әсер ететін факторлар өңделетін материал, құрал материалы, құрал геометриясы, тербеліс амплитудасы, абразив дәндерінің өлшемі, тесіктің тереңдігі мен өңдеу уақыты, сондай-ақ күтілетін кавитациялар болып табылады.

УДӨ жұмысының негізгі ерекшелігі - абразивтер құрал мен бұйым (бүйірлік саңылау) арасындағы бүйірлік кеңістікті кесіп, ол арқылы материалды алып тастау орын алатын алдыңғы саңылауға төмен қарай жылжу. Тиісінше, ультрадыбыспен алынған тесік белгілі бір үлкейгенде (кесу) пайдаланылатын абразивті дәндердің мөлшеріне тең қолданылатын құралдан әлдеқайда көп. Бұл габаритті емес қайталауды білдіреді. $\pm 25 / m$ рұқсаттары УДӨ оңай алынуы мүмкін. Алайда кейбір шараларды қарау кезінде $\pm 2,5 \mu m$ жақын рұқсатнамалар алуға болады.

Ультрадыбыспен өңделген тесік қабырғаларының кедір-бұдырлығы негізінен өңделетін материалмен, тербеліс амплитудасымен және абразив дәнінің өлшемімен анықталады. Бет сапасы кавитация жағдайлары басым болғанда нашарлайды [5].

7.3 Электрохимиялық және химиялық өңдеу процестері

7.3.1 Электрохимиялық өңдеу

ЭХӨ қатты немесе қатты өткізгіш материалдар үшін қолайлы, оның ішінде тесіктері бар. Бұл процесс қабыршақсыз тамаша бетті қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, толық термоөңделген материалдарды деформациясыз немесе термиялық әсер ету аймағынсыз (ТӘА) өңдеуге болады. ЭХӨ электр эрозиялық өңдеумен салыстырғанда, қалпына келтіру қабатынсыз немесе ТӘА-сыз әлдеқайда жылдам жұмыс істейді.

ЭХӨ-де пайдаланылатын электролиттер коррозияны тудыруы мүмкін. Бақытымызға орай, электрохимиялық өңдеу кезінде тот баспайтын болат осы электролиттердің коррозияға қарсы болады. Бұл процестің басқа өзіндік ерекшелігі-бұл құрал катодын дайындағаннан кейін ол мүлдем тозбайды, бұл процестің дәлдігін арттыруға ықпал етеді.

Фарадейдің негізгі теңдеуінен есептелген жоюдың теориялық жылдамдығы Фарадей теңдеуімен анықталады:

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{N}{n} \cdot I \cdot t$$

мұнда

m = жұмыс материалының анодты еріту салмағы (г)

N = жұмыс материалының атомдық массасы (г/моль) n = жұмыс

материалының валенттілігі (-)

О

$N / n = EC$ - жұмыс материалының баламасы (г / моль) $I =$ өңдеу тогы (А)

$t = \frac{1}{F} \cdot \dots$ =тоқтың өту уақыты

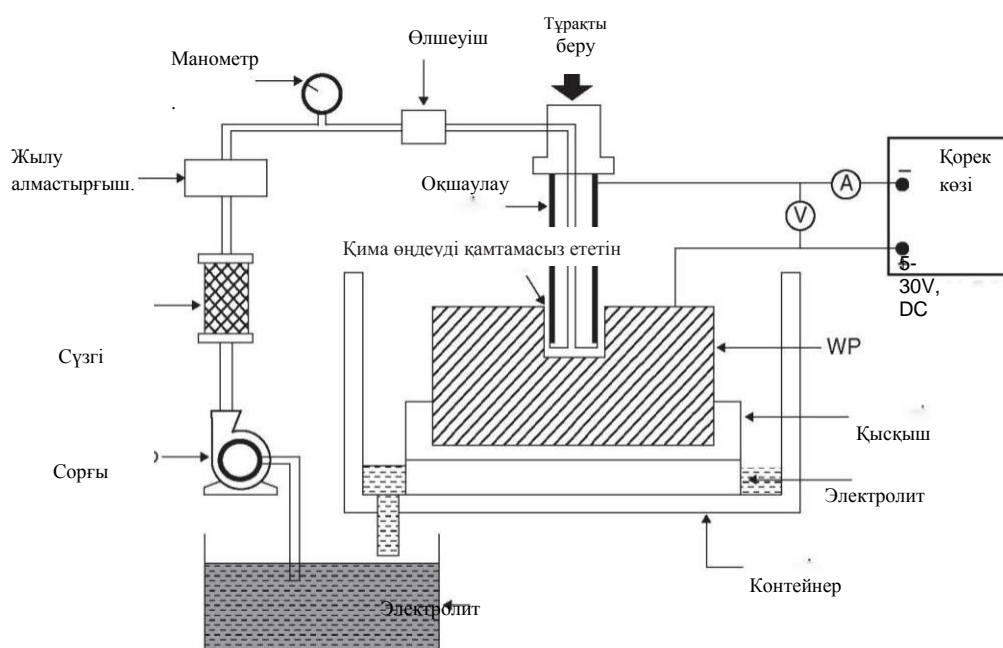
=константа($F =$ Фарадей константы= 96 487а-с/моль)

ЕС-НС эквиваленті теңдеу бойынша есептелуі мүмкін:

$$\left(\frac{N}{n}\right)_{\text{ж}} = \frac{1}{100} \left[X_1 \frac{N_1}{n_1} + X_2 \frac{N_2}{n_2} + \dots \right]$$

мұнда X_1, X_2, \dots тот баспайтын болаттан немесе ыстыққа төзімді қорытпада легірлеуші элементтердің пайыздары, N_1, N_2, \dots атомдық таразылар болып табылады, а n_1, n_2, \dots тиісінше мәндер болып табылады [4].

7.5 сурет ЕС типтік батыру аппаратын схемалық бейнелейді. ЕС машиналары нарықта қол жетімді қуаты 50-ден 40 000 А-ға дейінгі тұрақты ток генераторларымен жабдықталған. Қоректену көздері 5-тен 30 В дейінгі диапазонда тұрақты кернеуді қамтамасыз етеді. Олар, әдетте, өңдеу ұяшығында қысқа тұйықталудың алдын алу үшін жоғары қуат коэффициентімен, жоғары тиімділікпен сипатталады және қысқа тұйықталудан қысқа тұйықталудан қысқа уақыт ішінде қорғаныспен жабдықталуы тиіс.



Сурет 7.5 ЭХӨ баптау. (Эль-Хафи бейімделген [6].)

Станок WP-ден құралды бөлуге ұмтылатын өңделетін саңылаудағы электролиттің гидродинамикалық қысымына төзуі үшін жеткілікті қатаң болуы тиіс. Сервомеханизм құрал қозғалысын басқару үшін материалды еріту құралды берудің тұрақты жылдамдығымен теңестірілетіндей қажет. Қарапайым станоктардан, ЕС машиналарынан айырмашылығы металл емес материалдарды пайдалану кезінде коррозияға қарсы тұруға арналған. Басқа машина жабдықтарында тоттану қаупін болдырмау үшін ЕС машиналары шеберханадағы жеке бөлмелерде мүлдем оқшаулануы тиіс. Электролитті беру блогы берілген жылдамдықпен, қысыммен және температурамен электролитті құлайды. Электролитті сүзуге, температураны бақылауға және тұнбаны жоюға арналған құралдар қолданылады.

7.3.1.1 Процестің мүмкіншіліктері

ЭХӨ жылдамдығы өңделетін материалдың қаттылығына қарамастан, тек ион алмасу жылдамдығына байланысты. Процесс 1,5-2 см³ / мин / 1000А болат үшін металды жою жылдамдығын қамтамасыз етеді. 2,5 мм / мин дейін ену жылдамдығы әдетте шыңдалған немесе шыңдалмаған карбидтер мен болаттарды өңдеу кезінде алынады. 7.3-кестеде электролиз тогы 1000 А, ал токтың пайдалы әсер коэффициенті 100% тең болған жағдайда, ең көп таралған металдар үшін ЕС жою дәрежесі көрсетілген.

Барлық дәстүрлі және дәстүрлі емес үдерістердің арасында ЭХӨ-нің жақсы танымал және бірегей сипаттамасы - беттің дәлдігі мен сапасы жоғары жою жылдамдығын (яғни токтың жоғары тығыздығын) қолданғанда жақсарады. ЭХӨ негізгі мәселесі - дәлдікке әсер ететін кескіш (бүйірлік саңылау). Бір сөзбен айтқанда, бүйірлік саңылау параметрлердің күрделі жиынтығымен реттеледі, олардың ішіндегі ең маңыздысы электролит түрі және электролит шығыны болып табылады.

Кесте 7.3 Электрохимиялық алып тастау және әдетте пайдаланылатын металдарды алып тастаудың үлестік жылдамдығы

Металл	ρ (g/cm ³)	N атомдық салмақ(г/моль)	N теңгерім	e = N/n (g)	Жою жылдамдығы n = i = 1000 A,100% г/мин смЗ/мин		Ерекше RR (см3 / a-мин)
Алюминий (Al)	2,7	27	3	9,0	5,6	2,1	0,0021
Хром (Cr)	7,2	52	2	26,0	16,2	2,3	0,0023
			3	17,3	10,8	1,5	0,0015
			6	8,7	5,4	0,8	0,0008
Кобальт	8,9	59	2	29,5	18,3	2,1	0,0021
			3	19,5	12,3	1,4	0,0014
Мыс (Cu)	9,0	64	1	64,0	39,5	4,4	0,0044
			2	32,0	19,7	2,2	0,0022
Темір (Fe)	7,9	56	2	28	17,4	2,2	0,0022
			3	18,7	11,6	1,5	0,0015
			3	32,0	20,0	2,0	0,0020
Молибден (Mo)	10,2	96	4	24,0	14,9	1,5	0,0015
			6	16,0	10,0	1,0	0,0010
			2	29,5	16,2	2,1	0,0021
Никель (Ni)	8,9	59	3	19,7	12,2	1,4	0,0014
			3	16,0	10,0	2,2	0,0022
Титан (Ti)	4,5	48	4	12,0	7,5	1,6	0,0016
			6	30,7	19,0	1,0	0,0010
Вольфрам (W)	19,3	184	8	23,0	14,3	0,7	0,0007
			2	32,5	20,9	20,9	0,0029

Юсефтен берілген [4].

ЭХӨ өлшемі бойынша типтік рұқсатнама ± 0,13 мм құрайды; алайда өңдеу параметрлерін дұрыс бақылау кезінде ± 0,025 мм қатты рұқсатнамаға жетуі мүмкін. 0,8 мм-ден кем ішкі радиустарды өңдеу қиын. 0,5 мм типтік кесінділер және 1 мм / мм конустығы болуы мүмкін. Беттің типтік кедір-бұдырлығы (Ra мәні) ЭХӨ 0,2-ден 1 мкм-ге дейінгі диапазонда болады; ол өңдеу жылдамдығының ұлғаюымен азаяды. Құралдың тозуы болмайды және процесс кернеусіз беттер жасайды. Бір қадам үшін бүкіл қуысты кесу мүмкіндігі процесс өте өнімді етеді, бірақ күрделі құрал пішіні процестің құнын арттырады.

ЭХӨ артықшылықтары

Оларға жатады:

* Асқынған профильдері бар үш өлшемді беттер WP материалының беріктігі мен қаттылығына қарамастан, жалғыз қызметте механикалық өңдеуге оңай ұшырауға болады

- * ЭХӨ дәстүрлі және дәстүрлі емес әдістермен салыстырғанда металл алудың жоғары жылдамдығын ұсынады
- * Құралдың тозуы жоқ, бұл оны бірнеше рет өндіруге мүмкіндік береді
- * Ешқандай термиялық зақымданулар немесе ЖӨА
- * Беттің жоғары сапасы мен дәлдігі ең жоғары МСА-ге жетуі мүмкін
- * ЭХӨ өндіретін беттердің қабыршақтары жоқ және жүктемелерге ұшырамайды.

ЭХӨ кемшіліктері

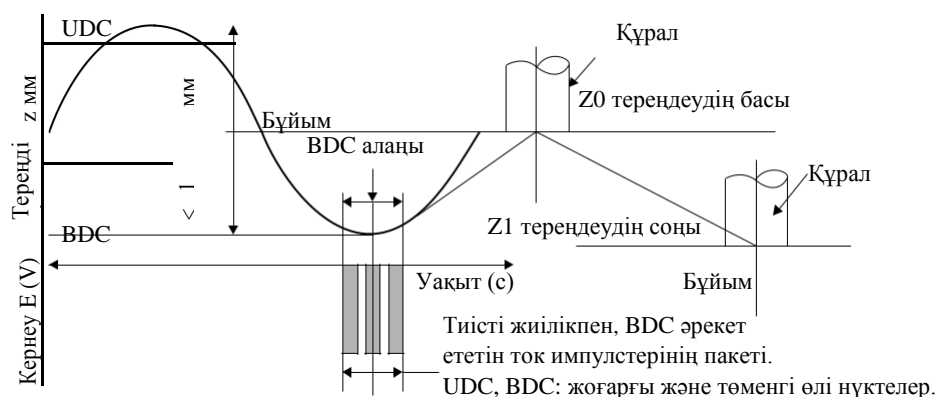
Оларға жатады:

- * Өткізбейтін материалдар өңделмейді.
- * Машина және оның керек-жарақтары коррозияға және тот басуға бейім, әсіресе NaCl электролитті пайдалану кезінде; NaNO_3 сияқты қымбат электролиттер аз агрессивті.
- * ЭХӨ кемшіліктері оларға жатады: бұл жағдайда бытыраңқы өңдеу шаршаңқы беріктікті қалпына келтіру үшін ұсынылады.
- * ДӨП салыстырғанда жоғары үлестік энергия тұтыну
- * Кавитацияның болуы бетінің сапасын нашарлатады.

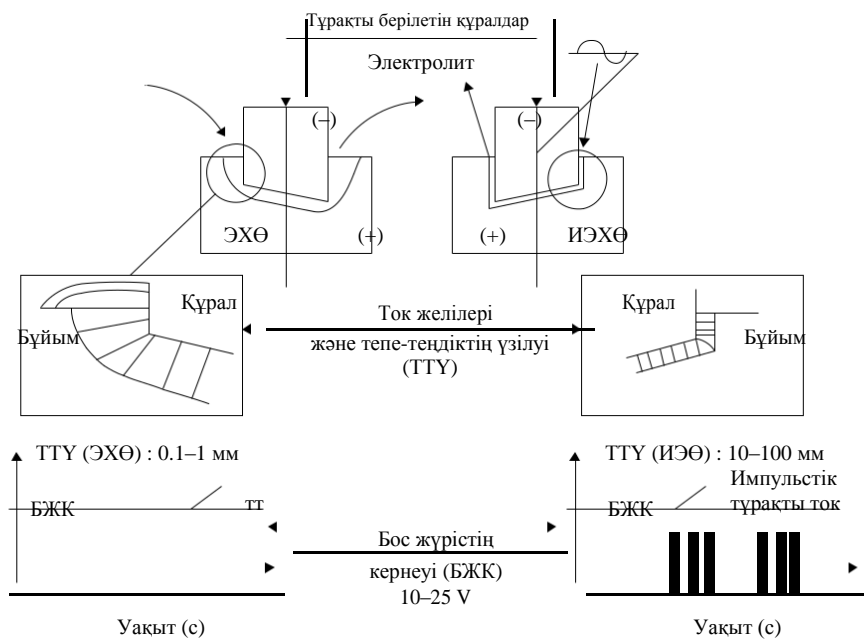
7.3.1.2 Импульстік электрохимиялық өңдеу (ИЭХӨ)

ЭХӨ кезінде жоғары дәлдікке қол жеткізу үшін 2000 жылдан бастап процестің импульстік модификациялары жасалды. Импульсті (сондай - ақ "дәл" деп аталатын) электрохимиялық өңдеу (ИЭХӨ) - бұл жұмыс саңылауында аспаптық электродтың төмен жиілікті тербелістерін қолдану арқылы дірілдің көмегімен ЭХӨ өшуін дамыту [7, 8]. Токтың жоғары тығыздығымен және тербелмелі электродпен қосымша импульсті тұрақты токтың комбинациясын пайдалану, ЭХӨ тұрақты тогы кезінде 100-1000 мкм типтік мәндерімен салыстырғанда, шамамен 10-100 мкм құрайтын азайған жұмыс саңылауларында дәл механикалық өңдеуді орындауға мүмкіндік береді. $R_a = 20-30$ нм [9]. Дайындау материалына байланысты, тіпті жылтыратылған беттер ИЭХӨ арқылы қол жеткізілуі мүмкін. ИЭХӨ принципі 7.6 суретте көрсетілген.

ИЭХӨ -де жұмыс істемейтін уақыт болғандықтан, процесс уақытының едәуір саны импульстің паузаларында электролитті ауыстыру үшін пайдаланылады. Бұл үзілісте металды жою болмайды. Демек, үздіксіз тұрақты ток қолданылатын ЕС әдістерімен салыстырғанда ИЭХӨ ең жоғары жою жылдамдығы айтарлықтай төмендетілген (мысалы, өңдеу уақыты 20 есе көп [7]). Алайда, сұйықтықты жанартудың арқасында жұмыс саңылауында электрохимиялық жағдайлар анағұрлым тұрақты сақталады. Демек, қалақтарды механикалық өңдеу кезінде немесе турбомашинаның компоненттерінің басқа да макрогеометриялық сипаттамалары сияқты сұйықтыққағынының ұзын жолдары үшін, ағын каналдарының ұзындығы бойынша саңылауды кеңейту әсерлері айтарлықтай төмендейді. 7.7 суретте ЭХӨ мен ИЭХӨ арасындағы егжей-тегжейлі салыстыру келтірілген.



7.6 сурет. Тербелмелі катоды бар электродпен импульсті (дәл) электрохимиялық өңдеу (ИЭХӨ) принципі. (Фрица Клок және басқаларынан [7].)



Процестің сипаттамасы	
ЭХӨ	ИЭХӨ
<ul style="list-style-type: none"> * Импульстік емес тұрақты ток * ТТУ 1 мм дейін * Дәл емес процесс * Тұрақты қуат құралы * 3 мм дейін беру 	<ul style="list-style-type: none"> * Импульстік тұрақты ток * ТТУ: 10–100 ММ * Реттелген процесс * Тербелмелі құралдың қозғалуымен тұрақты беріліс * Беру 0,1 мм / мин

ЭХӨ / ИЭХӨ әдісімен монокөнгелек қалақтарын өндіру	
ЭХӨ-жартылай өңдеу	ИЭХӨ-әрлеу
Өндеуге арналған әдіптер: 2-3 мм	Әрлеу, механикалық өңдеу уақыты
өңдеу уақытын есептеу 17 мин	есептелген 11 мин
Ескертпе. ЭХӨ, содан кейін ИЭХӨ, Ni-негізді қорытпалардың қалақтарын өндегенде ДӨП-ге қарағанда 30% үнемделеді.	

7.7 сурет. ЭХӨ мен ИЭХӨ арасындағы салыстыру.

Осылайша, саңылаудың өлшемін біркелкі бөлуге қол жеткізіледі, бұл өңдеу дәлдігін арттыруға, сондай-ақ электрод-құралды әзірлеу итерациясын жеңілдетуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, жұмыстан тыс уақытта электролиттің иондармен қанығу деңгейі азаяды, бұл тығыздығына байланысты азайған кезбе токтар пайда болады және өңделетін учаскелердің жанында төмен өңдеу шабуылы болады [7]. Қазіргі уақытта ЭХӨ және ИЭХӨ Ni негізіндегі қорытпалардан жасалған турбиналық қалақтарды өңдеу үшін ең жақсы шешімді қамтамасыз ету үшін қолданылады. Бұл TMPs салыстырғанда 30% үнемдеуді қамтамасыз етеді [9].

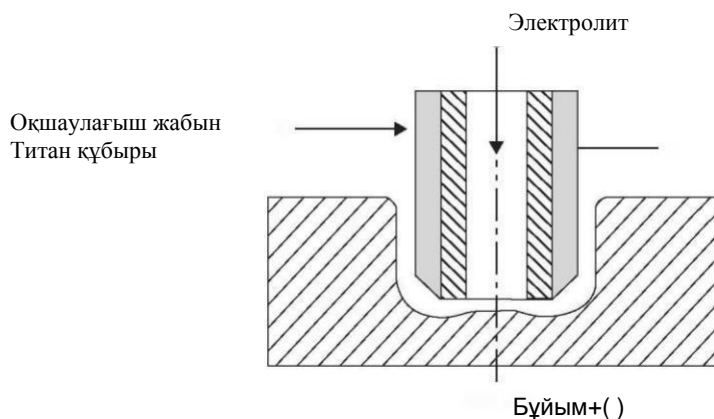
Зерттеулер көрсеткендей, ИЭХӨ шаршау беріктігін жақсартады, және бұл процесс электр эрозиялық өңдеу арқылы матрица мен пресс-форманың бетінде қалған қалпына келтірілген қабатты жоюдың ықтимал әдісі ретінде ұсынылған. Бұдан басқа, импульстік әсердің мақсаты электролиттің жоғары шығындарының қажеттілігін жою болып табылады, бұл штамп батырылған кезде эхм пайдалылығын шектейді [10].

7.3.1.3 Профильдік құбырларды электролиттік өңдеу (ПҚЭӨ)

Бұл қышқыл электролиттерді пайдаланып шағын терең ұңғымаларды бұрғылауға арналған ЭХӨ мамандандырылған технологиясы (7.8 сурет). Қышқыл пайдаланылады, сондықтан ерітілген металл ЭХӨ -дан тұз түріндегі электролит жағдайында шөгінді түзе алмайды, ерітіндіге ауысады. Электрод эмальды оқшаулау пленкасымен жабылған қышқылға төзімді түтікше болып табылады. Құбырлар әдетте оқшаулауды қамтамасыз ету үшін қышқылға төзімді органикалық жабыны бар жоғары сапалы Ті-ден жасалады. МЖЖ Фарадей заңына қатаң бағынады және құбырлы электродтың ток өткізетін сыйымдылығымен және қышқыл электролиттің қайнау температурасымен шектеледі.

Бұл процесс 0.5 - 6.5 mm диаметрімен және 180:1 диаметріне тереңдік коэффициенті бар шағын тесіктерді электр сымды материалдарда шығара алады. Мұндай шағын тесіктерді қалыпты ЭХӨ пайдалана отырып механикалық өңдеуге ұшырату қиын, себебі өндірілген преципитаттар электролитті беру жолын бұзғаттайды. Өңдеу конфигурациясы ЭХӨ -де қолданылатын конфигурацияға ұқсас. Алайда, ол мезгіл-мезгіл кері қоректену полярлығына ие. Катодты электрод-аспап титаннан жасалған, оның сыртқы қабырғасының анодты дайындаманы тек фронтальды өңдеуге мүмкіндік беретін оқшаулау жабыны бар.

Процесте сондай-ақ 10%-дық күкірт қышқылының концентрациясы пайдаланылады, ол тұнбаның кішкентай катодымен ластануын болдырмау және түтікше арқылы электролиттің біркелкі ағынын қамтамасыз етті.



7.8 сурет Діңнің сызбасы.

Полярлықтың периодтық өзгеруі, әдетте 3-9 с кезінде, катод бұрғыларының бетінде ерімейтін механикалық өңдеу өнімдерінің жиналуын болдырмайды. Кері кернеу өңдеу тікелей кернеуінен 0,1-1 есе артық алынуы мүмкін.

Профильді құбырларды электролиттік өндеудің негізгі жұмыс параметрлері (ПҚЭӨ) төменде келтірілген:

- * Қуат көзі: 5-15 тұрақты ток, (уақыт бойынша) 3-20 кері уақыт 0,2-0,4 С, Р Т1-40а/тесік.
- * Электролит: 6-15 в/в H_2SO_4 , қысым: 70-300 кПа, температура: 32-43 °С, шығыс: 20-150 см³ / мин, Контаминация: 6 г / 1 макс.
- * Беру жылдамдығы: 1-2 мм/мин
- * Тесік диаметрі: 0.5-6.5 мм
- * Ұңғыма тереңдігі: 600 мм
- * Тереңдігі / диаметрі: 180: 1
- * Тесік / жүріс: 1-100
- * Тесікке рұқсат: ±5% тесік диаметрі
- * Кедір-бұдырлы Ра: 1-3 μ m

Электролит концентрациясы 10% - дан аз түтікшені оқшаулауға шабуыл жасайды. Тесік мөлшері мен кедір-бұдырлығы электролит концентрациясының ұлғаюымен ұлғаяды. Кері полярлы ток кернеулерінде (типтік 4-5 V) өткізу кернеулеріне қарағанда көбіне төмен.

ПҚЭӨ сыни факторлар: ПҚЭӨ өнімділігін бақылайтын үш маңызды фактор бар:

1. *Шөгіндінің пайда болуы:* тұз электролиттері оқпанда пайдаланылмайды, себебі олар электролит ағынын ластайтын көп шлам шығарады, және, демек, бұрғылауға болатын тесіктің ең аз диаметрін шектейді. Сондықтан, сұйылтылған қышқыл электролиттер өзек үшін пайдаланылған. Алайда, қышқыл электролиттері дайындамалар мен өңделген беттерді, әсіресе тұз қышқылымен ажыратады.

2. *Қиманың жұмыс істеуін қамтамасыз ететін:* қиманың жұмыс істеуін қамтамасыз ететін минимизациялау тесікке маңызды фактор болып табылады. Зерттеулер көрсеткендей, өңдеу пассивті емес электролиттерге қарағанда ең жақсы өлшем және өңдеу дәлдігін береді.

3. *Беттік өңдеу:* суыту тесігінің кедір-бұдырлығы турбина қалағында жылу беру коэффициентіне әсер етуі мүмкін. Үйкеліс коэффициенті және осылайша жылу беру коэффициенті беттің кедір-бұдырлығының ұлғаюымен артады. Тегіс ішкі беттер, шөгінді

пайда болған жағдайда тесіктердің бітелуін болдырмау үшін қажет. Шамасы, оның қарама-қайшы әсерлері бар беттік өңдеу жеткіліксіз зерттелген.

ПҚЭӨ артықшылықтары

- * Диаметрге тереңдік 300 жетуі мүмкін
- * Тесіктердің үлкен саны (200 дейін) сол перспективада бұрғылауға болады
- * Параллель емес тесіктер өңделуі мүмкін
- * Саңырау тесіктерді бұрғылауға болады
- * Қалпына келтірілген қабаттар немесе металлургиялық ақаулар жоқ.
- * Формалық және иілген тесіктер шлицалар сияқты.

ПҚЭӨ шектеулері

- * Процесс коррозияға төзімді металдар үшін қолданылады
- * Жекелеген тесіктерді бұрғылау қажет болса, ПҚЭӨ баяу.
- * Қышқылмен жұмыс істеу үшін арнайы жұмыс орындары мен қоршаған орта қажет.
- * Қауіпті қалдықтар пайда болады
- * Күрделі өңдеу жүйелері мен жабдықтары қажет.

7.3.1.4 Электр ағыны (ЭА) немесе капиллярлық бұрғылау

Бұл жоғары кернеулі өте кішкентай тесіктерді бұрғылау үшін бейімделген ЭХӨ тағы бір нұсқасы. Кернеу ЭХӨ немесе ПҚЭӨ-де қолданылатын 10 еседен артық, сондықтан қорғау үшін арнайы шаралар қажет. Электролит температурасы, қысым, концентрация және ағынның жылдамдығы дайындаманың металлургиялық жай-күйімен химиялық үйлескен қышқылды электролит үшін қажет. Тереңдігі диаметрге 50: 1 дейінгі қатынасы бар диаметрі 0,1-ден 1 мм дейінгі тесіктер кез келген өткізгіш материалдан жасалуы мүмкін. Құрал-бұл керілген шыныдан жасалған қондырма, 25-50 мкм, қажетті тесік өлшемінен аз. Шыны арнаның ішінде қышқыл электролит арқылы өңдеу тогын жүргізу үшін платиналы электрод орнатылған (сурет. 7.9). Тесіктерді бірнеше рет бұрғылау басым [1]. Процесс сондай-ақ қол жетімділігі қиын позицияларда бүйірлік бұрылыстарды бұрғылау кезінде пайдаланылуы мүмкін (сурет. 7.10). ЭА көмегімен электр эрозиялық өңдеу үшін (ЭЭӨ) кемінде 0,5 мм бастапқы тесіктерді бұрғылауға болады.

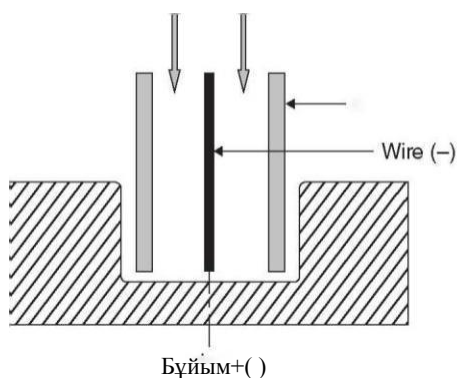
Автоматты индекстеу маңызды.

ЭА жұмыс параметрлері келесі:

- * *Қуат көзі:* 150-850Vdc, 20-200 mA
- * *Электролит:* 5-15 v / v H₂SO₄, HCl, немесе құрамы, қысым 140-700кПа, температура: 15-50 °C,
- * *Контаминация:* 6г/1макс.
- * *Беру жылдамдығы:* 1-5мм/мин
- * *Диаметрі/тесік тереңдігі:* 0.2 - 1мм/20мм
- * *Тереңдігі / диаметрі:* 50:1

Электролитті беруге арналған құрылғы

Шыны арна



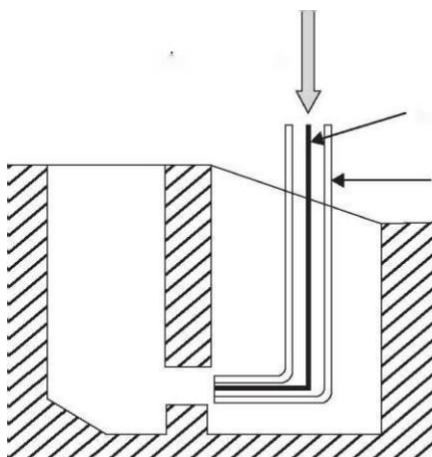
7.9 сурет ЭА бұрғылау сызбасы.

Қышқыл электролит

Металл электрод (—)

Шыны түтік

Бұйым+ ()



7.10 сурет. Қол жетімді емес жағдайда ЭА бұрғылау.

- * Тесік / жүріс: 100дейін
- * Тесікке рұқсат: $\pm 5\%$ тесік диаметрі
- * Кедір-бұдырлы Ра: 0.5-1.5сағат.

ЭА артықшылықтары

- * Тереңдіктің диаметрге жоғары қатынасы болуы мүмкін
- * Көптеген тесіктерді бір уақытта бұрғылауға болады.
- * Соқыр және қиылысатын тесіктер өңделуі мүмкін
- * Қайта жасалған және металлургиялық ақаулардың болмауы
- * Ұнтақты металлургия қиын өңделетін материалдар шешілуі мүмкін
- * Қабыршақсыз тесік жасалады.

ЭА шектеулері

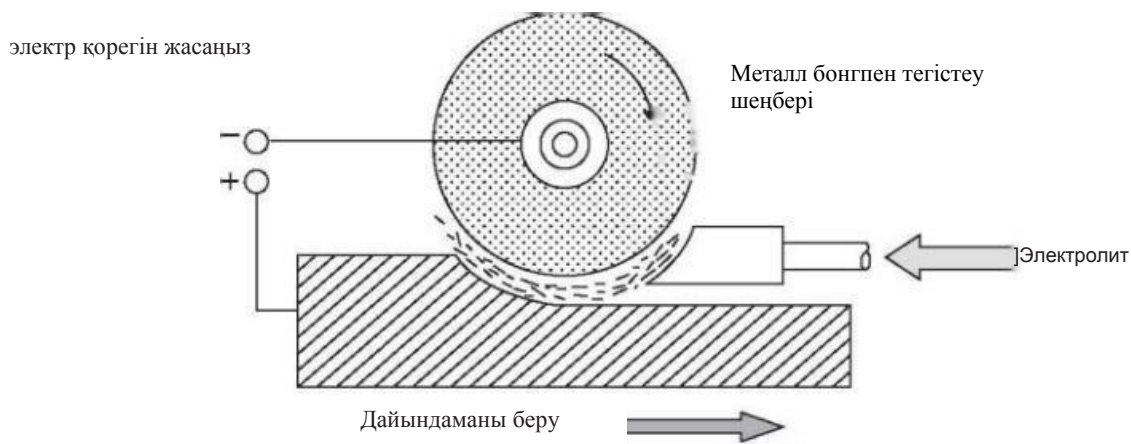
- * Коррозияға төзімді металдармен ғана пайдаланылуы мүмкін
- * Қауіпті қалдықтар пайда болады
- * Бір ұңғыманы бұрғылау кезінде баяу процесс
- * Қышқылмен жұмыс істеу ерекше ортаны және сақтық шараларын қажет етеді.

7.3.2

Электрохимиялық тегістеу

ЭХТ ЭХӨ-нің тағы бір нұсқасы болып табылады. Бұл гибриді процесс, онда металл ЕС еріту және механикалық үйкеліс арқылы жойылады. МСА дәстүрлі тегістеуге қарағанда жоғары, әсіресе қатты қорытпалар үшін, олар бұрмалаусыз немесе металлургиялық өзгерістерсіз тегістеуге болады. Қабыршақтары алып тасталған және тегіс беттер қолжетімді.

ЭХТ-да қолданылатын жабдық (7.11-сурет), GW алмаз немесе боразон (БКН) абразивімен металмен қосылуын қоспағанда, дәстүрлі тегістеу станогына ұқсас. Доңғалақ - теріс электрод, ал жұмыс тұрақты ток көзінің оң қысқышына қосылған.



7.11 сурет. Электрохимиялық тегістеу.

Әдетте NaNO_3 коррозиясын туындатпайтын электролит ағыны ЭХӨ операциясының фазасына жету үшін доңгелектің айналу бағытында беріледі. Шеңбердегі абразивтер өткізбейтін болып табылады, осылайша, олар 12-80 мкм электродтар арасындағы қашықтықты (электролиттік саңылау) ұстап, окшаулағыш төсем ретінде әрекет етеді. Сондықтан WP материалын алып тастау абразивті дәндердің ажарлау әсерімен күшейтілген ток ағыу салдарынан ($100-300 \text{ A} / \text{cm}^2$) электрохимиялық ыдырау арқылы жүреді. Дұрыс жұмыс істегенде, әдетте, 95% материалды алып тастау электролиттік еріту есебінен, ал тек 5% - ға жуығы ажарлау шеңберінің абразивті әсері есебінен болады. Демек, шеңбердің тозуы өте төмен, бұл тегістеу шеңберін түзету қажеттілігін болдырмауға немесе айтарлықтай азайтуға мүмкіндік береді, бұл қайрауға кететін шығындарды шамамен 60% - ға төмендетеді.

ЭХТ-да жылу зақымдануларының, бұрмалаулардың, қабыршақтардың және қалдық кернеулердің болмауы өте тиімді, әсіресе жоғары МСА-мен үйлесімде, тегістеу шеңберінің әлдеқайда аз тозуына қосымша. Сондықтан бұл процесс кесу құралдарын, штамптарды және беріктігі жоғары болат қорытпалардан жасалған штамптарды қайрау кезінде кеңінен қолданылады. Бірақ ЭХТ келесі кемшіліктерге ие:

- * жабдықтың жоғары күрделі құны;
- * шектелетін өткізгіш материалдар өңделуі мүмкін
- * электролиттің коррозиялық табиғатынан қауіп, осы себеппен NaNO_3 шектеулі коррозиялық табиғат қолданылады;
- * электролитті сүзу және кәдеге жарату қажеттілігі.

7.3.3 Химиялық өңдеу

Химиялық өңдеу (ХӨ) улағыштармен байланысқанда жұмыс материалының бақыланатын химиялық ерітуіне (ХЕ) байланысты. Бүгінде бұл процесс негізінен материалдарда, олардың қаттылығы мен беріктігіне қарамастан, күрделі пішінді ұсақ қуыстарды алу үшін қолданылады. ХӨ екі

негізгі қолдану аймағын қамтиды, атап айтқанда химиялық фрезерлеу (СН-фрезерлеу) және фотохимиялық өңдеу (ФХП).

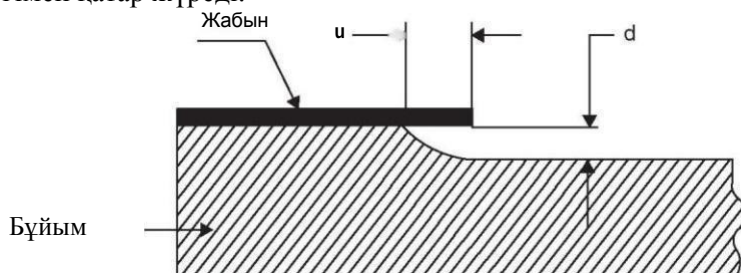
7.3.3.1 Химиялық фрезерлеу

Химиялық фрезерлеу (ХФ) ХӨ-нің маңызды нұсқасы болып табылады. Алып тастайтын маска жойылуы тиіс аймақтарды жабады. Бұл процесс аэроғарыштық өнеркәсіпте ерекше маңызға ие, онда ол зымыран және ұшақтардың қабырғаларын қамтитын плиталардың қалыңдығын азайту үшін пайдаланылады, қаттылық пен массаның арақатынасын жақсартуға ұмтылады.

Ұшақ пен фюзеляждың қанаттары сияқты үлкен беттік бөліктерді өңдеу үшін, салмақты азайту үшін қолдануға жарайды. Кесу беттерінде қылау, қалдық кернеулер және термиялық әсер ету аймақтары жоқ. Кемшіліктеріне төмен кесу жылдамдығын, сондай-ақ бүркемеленген аймақтардың жемірілуге әсер ететін ерітінділермен (7.12-сурет) кесілетінін (улау факторы, EF) жатқызуға болады.

ХФ-ді жонуға арналған жабдық салыстырмалы түрде қымбат емес әрі қарапайым. Төрт құрал түрі қажет: маскантилар, улағыштар, сурет салуға арналған шаблондар және аксессуарлар. Улағыштар химиялық құрамы мен температурасы бақыланатын диапазонда ұсталып тұратын жоғары концентрацияланған қышқылдық және сілтілік ерітінділер болып табылады. Ол ерітіндіде еритін металл тұзды алу үшін бұйым материалымен әрекеттесуге қабілетті. 7.4-суретте өңделетін материал, ұсынылатын улағыш, оның концентрациясы мен температурасы, EF және улау жылдамдығы көрсетілген.

Балғын ерітінділерді қолданған жағдайда улау жылдамдығы 20-дан 40 пм/мин-қа дейін болады. Әдетте, улаудың жоғары жылдамдығы беттің төмен кедір-бұдырлығымен, сәйкесінше, барынша жақын өңдеу шегімен қатар жүреді.



Өңдеу коэффициенті (ӨК) = u / d

(EF) = u / d , мұндағы

u = тілік

d = өңдеу тереңдігі

7.12-сурет. Хим-жонғылау кезіндегі улау коэффициенті.

7.4-кесте. Өңделген материалдар, ұсынылатын улағыш, улау коэффициенті (EF) Хим-жонғылау үшін улау коэффициенті

Өңдеу	Шоғырлануы	Температура (°C)	Өңдеу жылдамдығы (мкм/мин)	Өңдеу факторы (EF = u/d)	Металл өңделуі тиіс
FeCl ₃	12–18° Be _a	50	20	1.5:1	Алюминий қорытпалары
HCl:HNO ₃ :H ₂ O	10:1:9	50	20–40	2 : 1	
FeCl ₃	42° Be _a	50	20	2 : 1	Суықтай басылған болат
HNO ₃	10–15% (көл.)	50	40	1.5:1	
FeCl ₃	42° Be _a	50	40	2.5:1	Cu және Cu қорытпалары
CuCl ₂	35° Be _a	55	10	2 : 1	
HNO ₃	12–15% (көл.)	50–70	20–40	—	Магний
FeCl ₃	42° Be _a	50	10–20	(1–3) : 1	Никель
FeCl ₃	42° Be _a	55	20	2 : 1	Тот баспайтын болат, қалайы
HNO ₃	10–15% (көлем)	50–70	20	—	Цинк

Баумның үлес салмағының шкаласы.

Юсефтен алынды [4]

Әдетте беттің кедір-бұдырлығы бастапқы кедір-бұдырлыққа қарай 0,1-03 мкм құрайды (Ra мәні). Алайда ерекше жағдайларда беттің кедір-бұдырлығы 0,023-0,05 мкм болуы мүмкін.

Хим-жонғылаудың артықшылықтары:

- Күрделі контурларда салмақ азаюы мүмкін.
- Кейбір бөліктерді қатар механикалық өңдеуге ұшыратуға болады.
- Қылау түзусіз.
- Ешқандай тума кернеулерсіз, бұл сезімтал бөліктердің бұрмалану минимумына алып келеді.
- Жабдықтың төмен капитал құны және жабдықтың төмен құны.

Хим-жонғылаудың кемшіліктері:

- Шағын тіліктер тиімді. Терең тар тіліктер жасау қиын.
- Улағыштарды өңдеу және жою қиын әрі қауіпті болуы мүмкін.
- Бүркеу, белгілеу және тазарту қайталанатын, көп уақыт алады және шаршатады.

7.3.3.2 Фотохимиялық өңдеу (Шашыратып өңдеу)

Фотохимиялық өңдеу немесе шашыратып өңдеу ХӨ-ның тағы бір маңызды нұсқасы болып табылады, мұнда орнықты маска дайындамаға фотографиялық әдістермен жағылады. Бұл екі процесс өте ұқсас, себебі екеуі де материалды химиялық еріту арқылы жою үшін улағышты пайдаланады. Хим-жонғылау әдетте бастапқыда және дұрыс емес пішіндерді соғу және құю сияқты басқа өндірістік процестермен құрылған үш өлшемді бөлшектерде қолданылады. Алайда фотохимиялық өңдеу дәл әрі микропішіндерді алу үшін қалыңдығы 0,013-1,5 мм жұқалтыр мен табақтарды өңдеуге келеді. Осылайша, фотохимиялық өңдеу механикалық сыққыштармен орындалатын кесу және қалыптау операцияларына нақты балама операция болады.

Вессер және басқалары [12] тұжырымдағандай, фотохимиялық өңдеуде улау жылдамдығы ХФ-жонғылауға қарағанда 10 және одан көп есе жоғары. Бұдан бөлек дәлдік ХФ -жонғылауға қарағанда айтарлықтай жоғары. Әрине, фотохимиялық өңдеуде жоғары қысымды / жоғары температураны (НР/НТ) қамтамасыз ету үшін жоғары дамыған қымбат тұратын жабдық қажет. ФХП жабдығы негізінде жоғарғы және төменгі шүмек жүйесімен, табақты сумен тазартуға, кейін ыстық ауамен кептіруге арналған блокпен, улағышты өлшеуге және бақылауға арналған блокпен және өнімді бақылауға арналған блокпен жабдықталған (7.13-сурет). Алюминий, мыс, мырыш, болаттар, тот баспайтын болаттар, қорғасын, никель, титан, молибден, шыны, Германий, карбидтер, керамика және кейбір пластмассалар фотохимиялық өңдеуге ұшырайды. Процесс сондай-ақ тесу қиын серіппелі материалдарда жақсы жұмыс істейді. Материалдар кейін оларды иіп, басқа компоненттерге жинау үшін жалпақ болуы тиіс. Фотохимиялық өңдеумен өндірілетін өнім әдетте электрон, автокөлік, әуе-ғарыш, телекоммуникация, компьютер саласында және басқа өнеркәсіп салаларында қолданылады.

Жұқалтырдан дайындалатын мөрлік тақта (7.14-сурет), жұқа елеуіштер, жалпақ серіппелер және т.б. сияқты әдеттегі өнімдер фотохимиялық өңдеу арқылы жүргізіледі.

Бұрын аталған Хим-жонғылау артықшылықтарына қосымша, фотохимиялық өңдеу төмендегілермен сипатталады:

- Улау дәлдігі мен жылдамдығы электрохимиялық жонғылауға қарағанда айтарлықтай жоғары. Құралдар фотографиялық әдістермен дайындалатын болғандықтан, оларды оңай сақтауға, ал шаблондарды оңай көрсетуге болады. Уақыты сәйкесінше аз.

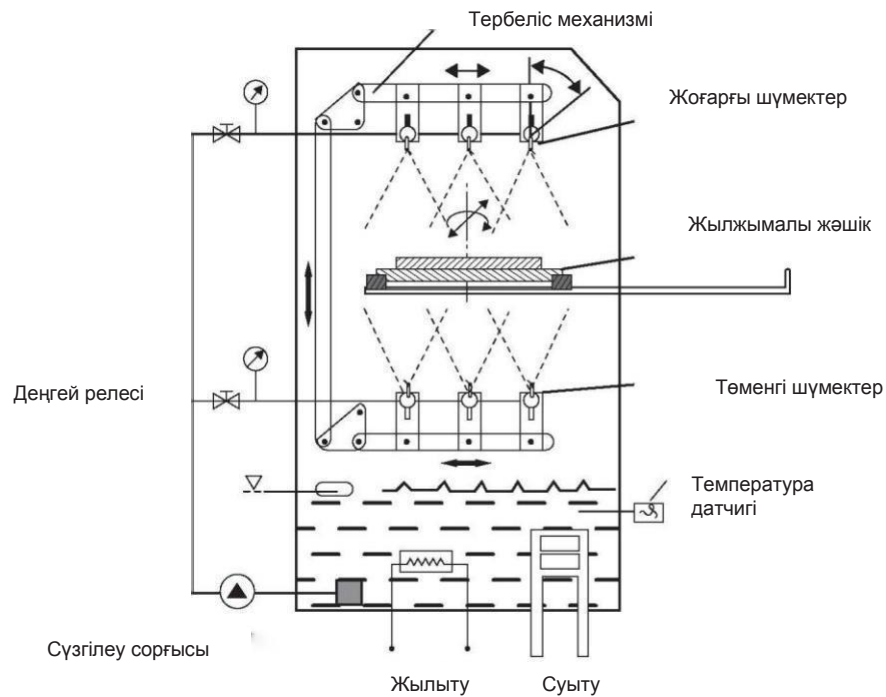
Хим-жонғылау кемшіліктерімен қатар, фотохимиялық өңдеу де кемшіліктерге ие:

- Біліктілігі жоғары оператор талап етіледі.
- Барынша қымбат жабдық талап етіледі.
- Қымбат тұратын машина улағыштардың жеміру әсерінен қорғалуы тиіс.

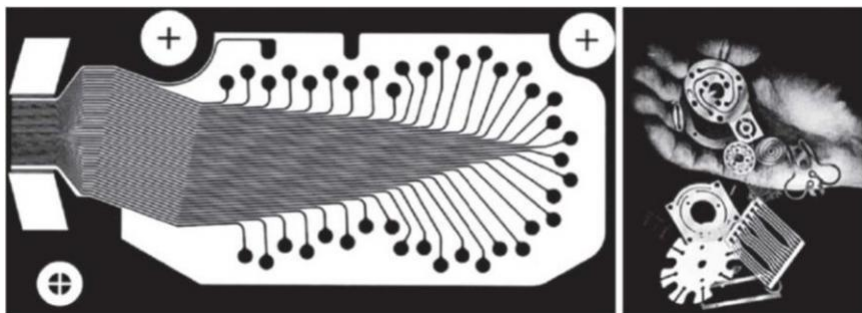
7.4 Термоэлектрлік процестер

7.4.1 Электроэрозиялық өңдеу

Электр зарядының эрозиялық әсері 1970 жылдан бастап Пристлимен анықталғанына қарамастан, тек 1940 жылдарда осы принципке негізделген лазерлік өңдеу процесі Ресейде Лазаренкомен әзірленді. Электроэрозиялық өңдеу (ЭЭӨ) дайындама мен фасондық электрод арасындағы лүпілді ток ағынымен тудырылатын ұшқындармен жойылатын термоэлектрлік ДЕӨП болып табылады. Дайындама мен электрод-құрал май немесе керосин сияқты диэлектрлік сұйықтықпен бөлінген. Ұшқындаудан болатын жылулық энергия көбінесе дайындаманың (және электродтың) материалын бұзатын жоғары температуралы плазманы тудыруға жұмсалады. Құрал мен бұйым арасындағы мүмкіндіктердің айырмашылығы көп болса, саңылаудағы диэлектрик жартылай иондалады, себебі өтпелі ұшқынды разряд электродтар арасындағы жақын тұрған нүктелерде сұйықтық арқылы жанады. Жылулық энергияның әр ұшқыны (әдетте 10^8 Вт/мм²) бұйым мен құралдан металдардың шағын мөлшерін балқытауға немесе бұға айналдыруға қабілетті (7.15-сурет). Жалпы энергияның бөлігі өңдеудің орынды шарттары таңдалса 1%-ға немесе одан төмен кішіреуі мүмкін құралдың тозуын тудыра отырып құрал электродымен жұтылады.



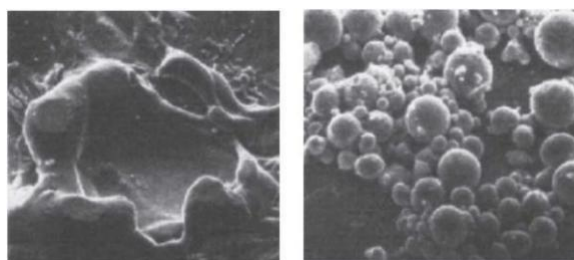
7.13-сурет. Фотохимиялық өңдеу жабдығының сұлбасы (ViTBber et al. [12], рұқсатпен алынды.)



7.14-сурет. Фотохимиялық өңдеудің типтік өнімдері. (ViTBber және т.б. [12], рұқсатпен алынды Chemical Corporation-мен ұсынылды)

Диэлектриктің дереу буға айналуы радиалды түрде кеңейетін жоғары қысым көпіршігін тудырады. Разрядталу токтың үзілуімен тоқтайды және металл бұйымда кішкене шұңқырлар немесе ойықтар және диэлектрике ілінген металл шарларды қалдыра отырып тасталады (7.15-сурет). Саңылауда түзілетін және разрядталудың жарылыс энергиясымен шығарылатын диэлектрик көмірсутектерінен күйе бөлшектерінің шламы түзіледі, ол сүзумен алынып тасталмайынша суспензияда қалады. Заряды біткеннен кейін каналды қоршап тұрған диэлектрик ионсызданып, қайтадан тиімді оқшаулағыш болып шығады.

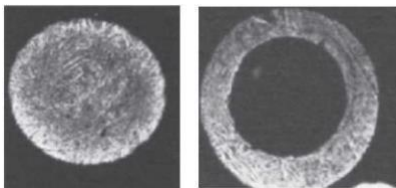
(a) (b)



Кратер беті

Сынықтар

(с)



Газбен басып алынған тұтас және қуыс қоқыстағы секция

15-сурет. Сканерлейтін электрондық микроскоптың беттік кратері және ЭЭӨ-ден түзілген сынықтар: а) беттік кратер; б) сынықтар; с) газбен басып алынған қатты және қуыс сынықтардағы тілік (Конигтен [13], рұқсатпен.)

Конденсатордың разрядталуы 50-ден 380В-қа дейінгі кернеуде және 0,1-ден 500 А-ге дейінгі токта 0,5-тен 500 кГц-ке дейінгі жылдамдықпен қайталаынады. Электрэррозиялық өңдеуде (ЭЭӨ) құрал мен бұйым 10-500 гм саңылаумен бөлінген. Электрод мен бұйым арасындағы шекті болып табылады; сәйкесінше, қылшықтың берілуі сервомеханизммен бақылануы тиіс, ол автоматты түрде тұрақты саңылауды ұстап тұрады. Саңылау арқылы қысқа тұйықталу сервожетектің дұрыс басқару қалпына келгенге дейін бағытын өзгертуіне алып келеді. Басында жаңадан жеткізілген диэлектрик таза болады әрі ластанған диэлектрикке қарағанда жоғары беріктікке ие болады. Ұшқындық разрядталу басталған кезде қоқыс түзіледі және диэлектрлік оқшаулаудың беріктігі азаяды. Егер тым көп бөлшектер дұрыс шаймау себебінен қалып қоюы мүмкін болса, көпір түзіледі, бұл саңылау арқылы доғаның түзілуіне алып келеді (ұшқындалмайды), ал бұл құрал мен бұйымның зақымдалуына алып келеді. Сондықтан саңылаудағы ластану тиімді шаю және сүзу арқылы бақылануы тиіс.

7.4.1.1 ЭД-машиналар үшін қолданылатын генераторлардың типтері

1. *RC сұлба (бәсеңдеу):* Оны сондай-ақ Лазаренко сұлбасы деп те атайды, ол негізінде бәсеңдететін генератор болып табылады. Бұл әдетте мыс немесе жез электродтармен қолданылатын қарапайым, сенімді, қатаң әрі қымбат емес қуат көзі. Ол беттің ұсақ түйіршікті құрылымын $RA = 0.25$ сағат қамтамасыз етеді. Алайда өңдеу жылдамдығы баяу, себебі конденсаторларды зарядтауға қажетті уақыт жоғары жиіліктерді пайдаланудың алдын алады. Бәсеңдеу тізбегіндегі кері полярлық құралдың қосымша тозуына алып келеді.

2. *Транзисторлық импульстік генераторлар:* 1960-шы жылдарды транзисторлық импульстік генераторлардың енгізілуі зарядтау циклінің аз ғана бөлігін алатын жоғары бақылау дәрежесімен процесс параметрлерін (разрядтау жиілігі мен энергиясын) түрлендіруге мүмкіндік берді. Бұдан бөлек, бұл машиналардың кернеуі 60-80В диапазонға дейін азаяды, бұл квадраттық профильдегі токтың төмен импульстерімен сипатталатын разрядталуға мүмкіндік береді. Бұл өте ұсақ әрі кең ойықтарға алып келеді, бұл беттің құрылымы өте жақсы дегенді білдіреді. Балама ретінде, қажет болған жағдайда олар жоғары разрядталу тогына мүмкіндік бере отырып, беттің сапасы есебінен материалдың тез алынып тасталуын қамтамасыз етеді. Бұдан бөлек, генераторлардың бұл типі бұдан қарапайым RC-сұлбалармен салыстырғанда электродтардың едәуір аз тозуын қамтамасыз етеді.

7.4.1.2 Процестің мүмкіншіліктері

ЭЭӨ – бұл дәстүрлі әдістермен салыстырғанда баяу процесс. Бұл шағын ойықтардан тұратын күңгірт және шұңқырлы беттерді түзеді, ол бағытталмаған, процестердің бөлек ұшқындарының кезектілігінен кездейсоқ бөлінген сипатпен сипатталады. Металды жою жылдамдығы әдетте 0,1-ден 600 м3/мин-қа дейін болады. Жоюдың жоғары жылдамдығы бет тұтастығы (БТ) нашар және қажу беріктігі төмен, балқытылған қалпына келген құрылымға ие кедір-бұдырлы бет береді. Өрлеу тілігі жоюдың төмен тарифтері және қайта түзу бойынша жүзеге асырылады, ою кезінде түзілетін қабаттар электрэррозиялық өңдеу операциясы аяқталғаннан кейін жойылады. Материалды жою жылдамдығы бұйым материалына ғана емес, импульс жағдайлары (кернеу, ток және ұзақтық), электрод материалы

мен полярлығы және диэлектрик сияқты өңдеу айнымалыларына да байланысты. ЭЭӨ-ге материалдың қаттылығы мен соққы тұтқырлығы әсер етпейді, бірақ ол тесіктерді қоса алғанда әртүрлі күрделі және дұрыс емес пішіндерді өңдеу үшін жақсы келеді.

ЭЭӨ-де бетті әрлеу және материалды жою жылдамдығы ұшқын жиілігіне, кернеуге, токқа және басқа да параметрлерге қарай кеңінен түрленеді. Жаңа әдістер беттің өте жақсы сапасын қамтамасыз ету үшін тербелмелі электродтарды пайдаланады. Соған балама ретінде, нашар беттер мен беттік ақаулар графиті электродтарды пайдалана отырып, ЭЭӨ-ні сипаттайды.

Әдетте, бүйір саңылауға түсетін қоқыстың тесерлік кернеуіне және мөлшеріне қарай 10-нан 300 ПМ-ға дейін түрленеді. Осыған қатысты сорып алып шаю оңтайлы болып табылады, себебі қоқыс бүйір саңылау арқылы өтпейді және осылайша бүйірден ұшқындау және бүйірден тарылу мейлінше азаяды. Типтік конустылық өңдеу шарттарына, әсіресе қолданылатын шаю техникасына қарай әр жағынан 1-ден 5 мкм/мм-ге дейін өзгереді.

ЭЭӨ ерекшеліктері

- Құрал мен бұйым арасында байланыс болмағандықтан, өте нәзік жұмысты өңдеуге болады.
- Процесс аса қатты материалдардан күрделі пішіндердің нақты қуыстарын алу үшін қолданылады.
- ЭЭӨ электродтары дәл өңделетін материалдардан жүргізілуі мүмкін.

ЭЭӨ-ге қойылатын шектеулер

- Егер бұйым материалы нашар электр өткізгіш болса, оны қолдануға болмайды.
- Материалдарды механикалық өңдеуде процесі ТЭА жүргізеді, ол түкті сызаттармен және жұқа, қатты, қалпы келтірілген қабатпен сипатталады.
- ЭЭӨ үшкір бұрыштар мен шеттерді құра алмайды.

7.4.2 Электрондық-сәулелік өңдеу

Электрондарды өңдеу бойынша пионерлік жұмыс электрондық-сәулелік жабдық прототипін ойлап шығарған Штайгервальдқа [14] байланысты, ол жабдық Германияда Мессер-Гриссхайммен дәнекерлеу үшін жасалды. Бұл жаңа технология өңдеу және беттік беріктендіру сияқты басқа қолдану салаларын қамту үшін өнеркәсіпке тез тарады. Электрондық-сәулелік өңдеу бұйым материалының тез балкуын және буға айналуын тудыра отырып, бұйым бетіндегі қуаттың өте жоғары тығыздығына дейін бір нүктеге топталған жоғары энергетикалық электрондардың шоғырын пайдаланатын термиялық ДЕӨП болып табылады. Жоғары кернеу, әдетте 120 кВ электрондарды вакуумдағы (10-4-10-5 Торр, 1 Торр = 1 мм сын.бағ.) жарық жылдамдығының 50-80%-ына дейін жылдамдату үшін қолданылады. Электрондық шоғырдың бұйыммен өзара әрекеттесуі қауіпті рентген сәулелерін тудырады, сәйкесінше, қорғау керек, ал жабдық тек біліктілігі жоғары қызметкермен қолданылуы тиіс. ЭСӨ ток өткізетін және өткізбейтін материалдарды өңдеу үшін қолданылуы мүмкін. Материалдың тығыздық, электр және жылу өткізгіштік, шағылыстыру қабілеті және балку температурасы сияқты қасиеттері әдетте шектеуші факторлар болып табылмайды. ЭСӨ-нің өнеркәсіпте ең көп пайдаланылуы – бұл автоматтандыру мен өнімділіктің жоғары дәрежесімен диаметрі 0,05-1 мм шағын тесіктерді дәл бұрғылау. ЭЭӨ-дегі сияқты жұқа қалпына келген қабат және термиялық әсер ету аймағы болуы мүмкін және оны төтенше жағдайларда алып тастауға тура келуі мүмкін.

ЭСӨ өнімділігіне әсер ететін параметрлер:

- Бұйымның тығыздығы және жылулық қасиеттері (меншікті жылу сыйымдылық, жылу өткізгіштік және балку температурасы)
- Жылдамдатушы кернеу (50-150 кВ)
- Электрондық шоғыр тогы (0,1-40 мА)
- Қуаты (1-150 кВт)

- Импульс ұзақтығы (4-60 000 ПС)
- Импульстер жиілігі (0.1-16 000 Гц)
- Дақтың ең кіші диаметрі (12-25 сағат)
- Шоғырдың қарқындылығы 106-109 Вт/см²
- Бұйымды жылжыту жылдамдығы.

Келесі теңдеу өңдеу процесінің параметрі терминінде жылжу жылдамдығын (VF (м/с) білдіреді:

$$v_f = \frac{C_d}{d_f} \left[0.1 \frac{P_e}{\theta_m t_1 k_1} \right]^2$$

мұндағы

t_1 = пластинаның қалыңдығы (м)

P_e = электрондық шоғырдың қуаты (Н м / с) = шоғыр тогы

x үдеу кернеуі = $i_b \times V_b$

d_f = шоғырдың фокусталу диаметрі (м) k_1 = жылу

өткізгіштігі (Н/С °С)

C_d = температура өткізгіштік коэффициенті = $kt / p-c1$

(м²/с)

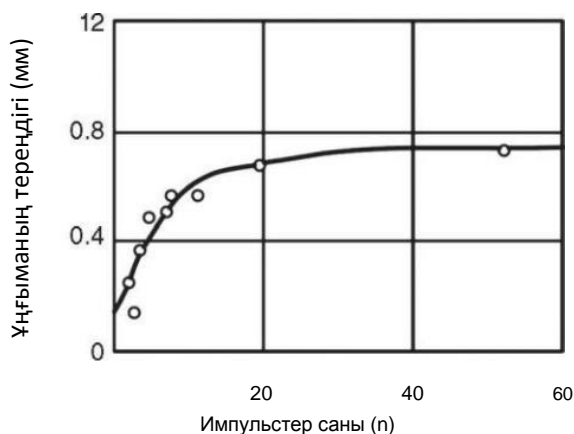
$c1$ = материалдың меншікті жылу сыйымдылығы WP (N

М/кг °с)

θ_m = бұйым материалының балқу температурасы (°С).

7.16-суретте импульстер санының ($V_b = 130$ кв, $t_i = 10$ ПС, $f_i = 500$ Гц, $L_i = 60 \times 10^{-9}$ А-С) тесік тереңдігіне әсері көрсетілген. Бұл лазерлік соқпалы бұрғылауға ұқсас (7.3.3-бөлімді қар.); алайда ЭСӨ-де тесіктің ең көп тереңдігіне шамамен 50 импульстан кейін қол жеткізіледі, ал лазерлік соқпалы бұрғылауда 9 импульстан кейін. Осы себепті импульстер санын жоғарыда аталған шектерден асыруға болмайды. .

ЭСӨ көлемді жылдамдықты жоюдың аз жылдамдығымен сипатталады, ол ең көп шамаға 0,1 см³/мин жетеді. Импульстердің бірдей саны қолданылған жағдайда жоюдың көлемді жылдамдығы импульс энергиясын (қуат қарқындылығын) көбейту есебінен артады. Өңделімділік өңделетін материалдың балқу температурасына тәуелді. Осыған қатысты қалайы мен кадмий ең жоғары өнімділікке ие, ал W мен Mo өнімділігі төмен.



7.16-сурет. ЭСӨ-де импульстер санының тесік тереңдігіне әсері (ViТББег-ден алынды [15].)

ЭСӨ тесіктерін бұрғылау кезінде қол жеткізілген шек бұйым тесігінің диаметріне және қалыңдығына байланысты, ал беттің кедір-бұдырлығы ең бастысы импульс энергиясына байланысты. Енбек шарттарына қарай, беттік кедір-бұдырлық RA 0.2-6.3 рm аралығында өзгеріп тұрған кезде бұрғыланған тесіктердің (және тіліктердің) шегі ± 5 пен ± 125 рm аралығындағы мәндерге жетуі мүмкін.

ЭСӨ артықшылықтары:

- Шағын тесіктерді жоғары жылдамдықпен бұрғылауға болады (4000 тесік / с).
- Кез келген материалды оның қасиеттеріне қарамастан өңдеу.
- Автоматтандыру мен өнімділіктің жоғары дәрежесін қамтамасыз ету.

ЭСӨ шектеулері:

- Жабдықтың жоғары капиталды құны.
- Өңдеу камерасын шығаруға уақыт жоғалту.
- Жұқа қайта жасалған қабаттың және ТӨА-ның болуы.
- Компьютерленген сандық бағдарламалық басқарумен (СББ) және рентген қауіптілігімен жұмыс істеу үшін білікті қызметкерге деген қажеттілік.

ЭСӨ-ні пайдалану:

ЭСӨ тек бұрғылау және кесу операцияларында дерлік қолданылады. Көп кішкентай тесіктерді жасау қажет болған кезде немесе тесіктерді тесіктің геометриясы немесе материалдың қаттылығы себебінен бұрғылау қиын болған кезде бұрғылау оңтайлырақ. Тоқыма және химия өнеркәсібі ЭС бұрғылауды сүзгілер мен экрандар үшін көптеген тесіктер жасау үшін бұрғылап тесу процесі ретінде қолданады.

7.4.3 Лазерлік өңдеу

Лазер жарықты ынталандырылған сәулелендірумен күшейтудің қысқаша атауы болып табылады. бұл көрінетін немесе көрінбейтін диапазондағы қатты коллимирленген монохромды және когерентті жарық шоғыры. Лазерлік өңдеу кез келген материалдарды олардың физико-механикалық қасиеттеріне қарамастан өңдеу үшін перспективалы ДЕӨП болып табылады. Ол болат, құйылған қорытпалар, өртке төзімді материалдар, керамика, вольфрам, титан, никель, БКН, алмаз, пластмасса, мата, глинозем, тері, ағаш, қағаз, резеңге және т.б. сияқты қатты материалдарды да, жұмсақ материалдарды да және беті көміртек сияқты сәулені жұтатын материалмен қапталған тегіс шыныны кесу және өңдеу үшін қолданылады. Алайда Al, Cu, V және Au өңдеу қиындық тудырады, себебі бұл металдар жоғары жылу өткізгіштікке ие және тіркелген жарықты шағылыстыру қабілетіне ие. Бірақ жуырда лазерлік фокусталуы жақсартылған итрий-алюминий гранаты (YAG) осындай металдарды олардың беттерін тотықтыру арқылы немесе беттің кедір-бұдырлығын көбейту арқылы өңдеуден кейін кесу үшін қолданылды. YAG CO₂-лазерден асып түседі, себебі одан қысқа толқын ұзындығын шығарады [1].

Лазер – бұл сағаттардың дәлдігінен бастап ауыр металл өңдейтін өнеркәсіпке дейін көптеген салаларда пайдалы әмбебап құрал. Лазердің тиімділігінің көзі оның кейбір жағдайларда 1010 Вт/мм²-қа жететін жоғары концентрацияланған қуатты жеткізу қабілетінде жатыр. Лазерлік сәуленің артықшылықтарының бірі оның ЭС жасайтындай өңдеу аймағынан шығаруға уақытты талап етпейтіндігінде.

Лазер ауа, газ, вакуум сияқты мөлдір орталарда, кейбір жағдайда тіпті сұйықтықтарда жұмыс істей алады. Алайда ЛСӨ айтарлықтай тиімсіз және металды жоюдың жаппай процесі ретінде қаралуы мүмкін емес. Лазерлік бұрғылаудың едәуір шектеуі процесте дөңгелек және түзу тесіктер түзілмейтіндігінде. Алайда тесікті бұрғылау кезінде бұйымды айналдыра отырып бұның алдын алуға болады. 1/20 жуық конустылық кездеседі. ТӨА ЛСӨ-де түзіледі, сондай-ақ беттің термоөңделуіне ұшырайды.

Үлкен күрделі және пайдалану шығындары және өңдеудің бар болғаны 1%-ды құрайтын төмен тиімділігі ЛСӨ-ге ДЕӨ-дің басқа әдістерімен бәсекеге қабілетті болуына мүмкіндік бермейді. Қорғау шаралары лазерлік жабдықпен жұмыс істеу кезінде міндетті түрде қажет. Лазерлермен өте сақ болған жөн; тіпті ең төмен 1 Вт қуат көз торының зақымдануына алып келуі мүмкін. Барлық жағдайларда қорғаныш көзілдірігін пайдаланған жөн және бөгде тұлғаларды лазердің жұмыс аймағына жібермеу керек [1].

Өнеркәсіптік лазерлер көп жағдайда неодим, иттрий-алюминий гранаты (Nd: YAG), неодим шыны (Nd: шыны) сияқты қатты денелі лазерлерді, сондай-ақ рубин және газ лазерлерді (CO₂, эксимер және He / Ne) қамтиды. Негізгі металдарды өңдеу процесінде төрт тип басым болады, атап айтқанда, CO₂, НД:ИАГ, Nd:glаТББ және эксимерлі лазерлер. Солардың ішінен CO₂ мен YAG ең сенімді жұмыс алаңдары болып табылады.

1. CO₂ лазерлері: Бұл лазерлерде негізгі генерация материалы CO₂ болып табылады. Алайда газдардың қоспасы (CO₂:N₂:He = 0,8:1: 7) қолданылады. Гелий газ қуысынан суытатын сұйықтық ретінде қызмет атқарады. CO₂-лазерлер 10 600 нм толқын ұзындығымен сипатталады; Осылайша, материалды жою тек бұйыммен жылулық әсер етуге ғана байланысты. Алайда бұл лазерлер зор болғанымен үнемді.

2. *Nd: YAG лазерлер:* Бұл лазер белсенді генерация материалы ретінде 1% неодиммен қоспаланған YAG монокристалы болып табылады. Ол ықшам әрі үнемді, оның толқын ұзындығы 1060 нм құрайды және де ол импульстік режимде де (P), үздіксіз режимде де (CW) жұмыс істей алады. Ол жоғары салыстырмалы тиімділікпен және жоғары лүпілді жиілікпен сипатталған. Оның лүпілді жиілігі 1 мен 10 000 П/С аралығында, ал импульс энергиясы 5-8 Дж/С аралығында өзгеріп тұрады. Оның орташа шығу қуаты 1 кВт-қа жуық.

3. *Nd: шыны лазерлер:* Бұл лазер әсер ететін лазер материалы ретінде 2-6% неодиммен қоспаланған шыны сырықты пайдаланады. Бұл лазер көбінесе үнемді емес, НД:ИАГ сияқты толқын ұзындығына ие және тек (P) режимінде ғана жұмыс істейді. Шынының жылу өткізгіштігі төмен болуы салдарынан импульс тарифі шектелуі тиіс. Сәйкесінше, ол барынша жоғары шығу энергиясы және импульстердің төмен жиілігі (1-2 p/s) қажет етілетін бұрғылау мен пісіруде ғана қолданылады.

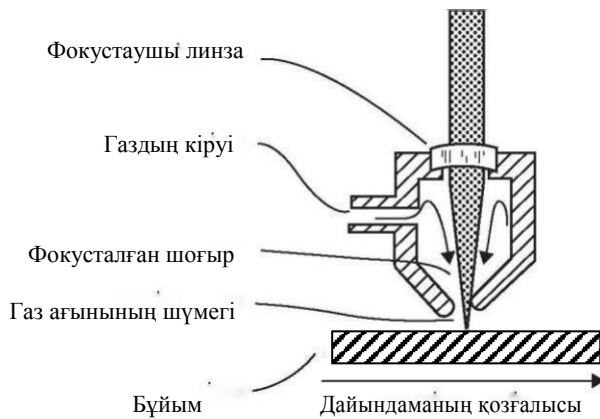
4. *Эксимерлі лазер:* Эксимерлі лазерлер спектрдің УК-саласында жұмыс істейтін импульстік лазерлер тобын (P) білдіреді. Эксимер – «қозған диммерден» шыққан қысқаша атау. Сәуле галоид тобының бірімен (F, H, Cl) және сирек газдың басқа тобымен (Kr, Ar, Xe) түзілген жоғары тегеурінді қос газ қоспасында тез электр разрядтарына жүргізілген. Эксимерлі лазер толқынының ұзындығы қос газ үйлесіміне қарай 157-ден 351 Нм-ге дейінгі мәнге жетеді. Эксимерлі лазерлер материалды фотолитикалық түрде жоятын төмен шығу қуатына ие, және пластмассаларды механикалық өңдеуде, микромашина жасауда және маркалауда едәуір қолданылады [4].

Кейбір жағдайларда дәл сол лазер энергияның тығыздығын, дақтың (фокустың) өлшемін және импульстің ұзақтығын өзгерту арқылы кесу, пісіру, маркалау және термоөңдеу қызметтерін атқара алады. Толқын ұзындығы ультрақызыл спектрден тыс басқа лазерлер де материалдық өңдеуде қолданылды.

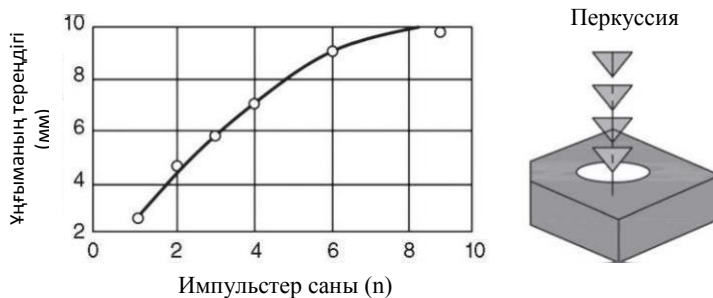
Газдық ЛСӨ:

Газ ағындары лазерлік бұрғылауда немесе кесуде жиі қолданылады. Кесу жылдамдығын арттыру үшін оттегі немесе газ қолданылуы мүмкін (7.17-сурет). Газ ағыны да балқыған материалдан шығару үшін, әсіресе терең тіліктерден шығару үшін қолданылады. Газды (N₂, Ar немесе He) өңделетін материалдың типіне, оның қалыңдығына және тілік түріне байланысты емес. Оттегі болаттар және көптеген металдар үшін ең жиі қолданылатын қосымша газ болып табылады. Инертті газ пластмассалардың және басқа органикалық материалдардың көмірленуін болдырмау үшін де қолданылады.

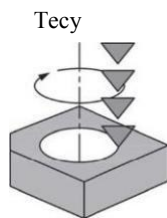
Терең тесіктерді өңдеу үшін кезекті импульстерге (көп рет бұрғылау немесе соқпалы бұрғылау). Айта кету керек, бұрғылау тереңдігі импульстер санымен сызықты түрде корреляцияланбайды, 7.18-суретте көрсетілгендей, тоғызыншы импульстен кейін ең жоғары мәнге жеткенге дейін азаймалы жылдамдықпен артады. Соқпалы бұрғылау 25-1000 гм микротесіктерді алуға арналған, ал тесу бұдан ірі тесіктерді (>1 мм) бұрғылау үшін қолданылады (7.19-сурет). Тесіктер 25 мм дейін металл секциялар арқылы жасалуы мүмкін, алайда металдың шағын тесіктер үшін ең үлкен қалыңдығы шектелген [16]. Үлкен қатынастардағы кіші терең тесіктерді соқпалы бұрғылау жағдайында сәуле фокусын кезекті импульстер арасындағы бағытта жылжыту маңызды.



7.17-сурет. Газ-лазерлік қашаудың және газ ағыны бар бұрғылаушы бастиктің сұлбасы.



7.18-сурет. Микротесіктерді соқпалы бұрғылау және импульстер санының өндірілетін тесік тереңдігіне әсері



7.19-сурет. Тесу кезінде үлкен тесіктерді ЛСӨ

СБ (соқпалы бұрғылау) көбінесе Nd-мен орындалады: жоғары энергия импульсінің себебінен ИАГ лазерлермен. Лазер металдың белгілі бір көлемін жоюда әр импульспен импульстік режимде орындалады. Пластина қалыңдығын көбейткен жағдайда тесік диаметрі азаяды [16]. СБ-да концентрнің жұмыс параметрлері төмендегілер болып табылады:

- *Күш*: Орташа мән 100-250Вт-тан кем аралықта өзгеріп тұрады.

- *Импульстің ұзақтығы:* Бұл тесіктің сапасын оңтайландыру үшін таңдалды. Импульстің барынша қысқа ұзақтығы бір импульсте жететін ең жоғары энергияны шектейді. Импульстің әдеттегі ұзақтығы 0,5-2 мс құрайды.
- *Импульстердің жиілігі:* Бұл НД:ИАГ-пен 5-20 Hz аралығында, ал CO₂ лазерлермен 100 Hz дейін болады.
- *Импульс энергиясы:* Бұл материалдың қалыңдығы, тесіктің құрамы мен диаметрі негізінде анықталады. Импульстің барынша жоғары энергиясы да бұрғылаудың жоғары жылдамдығын қамтамасыз етеді, алайда тесіктің сапасына кері әсер етуі мүмкін.
- *Фокустаушы линза:* Бұл тесіктің талап етілетін диаметріне сәйкес келетін дақ көлемін анықтайды. Дақ көлемі қалыңдығы < 6 мм жұқа пластиналардағы тесік көлеміне тең. Қалың пластиналар (барынша ұзын пластиналар) барынша ұзын фокустық қашықтықтары бар линзаларды қолдануды қажет етеді. Фокустық ара қашықтық әдетте 100-250 мм құрайды.
- *Фокустық күй:* Бұл қалаған нәтижелерге қарай тақтадан жоғары, төмен немесе бетінде оңтайландырылған. Көбінесе фокус беттің астында пластина қалыңдығынан 5-15% терендікте тұрады. Оңтайлы фокусталу дөңгелектік, конустылық, қайта жасау және микрожарықшақтар бойынша тесіктің ең жақсы сапасы үшін эмпирикалық түрде табылған [16].

Тесу әдетте CO₂ немесе НД:ИАГ лазердің көмегімен жүргізіледі. Бұрғыланған перфораторлық тесік қажет болады. Металл қалыңдығының диапазоны соқпалы бұрғылаудағы сияқты. Тесу лазер жұмысының үздіксіз және импульстік режимі арқылы жүргізілуі мүмкін. Трепаннингтегі жұмыс параметрлері төмендегілер болып табылады:

- *Күш:* Бұл нәтижені барынша жақсартуға қажетті деңгейге орнатылған.
- *Импульс ұзақтығы:* Бұл тесіктің сапасын оңтайландыру үшін таңдалған. CO₂ және НД:ИАГ лазерлермен импульстің әдеттегі ұзақтығы 2 мс-тан аз.
- *Импульстердің жиілігі:* Импульстердің ең төмен жиіліктері пластина қалыңдығын арттырған кезде қолданылады.
- *Фокустаушы линза:* Объективтің фокустық қашықтығы соқпалы бұрғылаудағы сияқты, дегенмен CO₂ лазерлерде тесу үшін фокустық қашықтық 125 мм немесе одан аз.

СБ-да беттің ең жақсы сапасына қол жеткізу үшін импульс энергиясы төмен және импульс ұзақтығы аз шоғырды пайдаланған жөн [4]. Беттің сапасына өңделетін материалдағы көміртек мөлшері де әсер етеді.



7.20-сурет. Көміртек мөлшерінің газ лазерімен бұрғыланған тесіктер бетінің кедір-бұдырлығына әсері. (Rykalin et al. алынды [17].)

Ол көміртек мөлшерінің артуымен айтарлықтай көбейеді. Бұған балқыған металл тұтқырлығының азаюы себеп болуы мүмкін, ол беттің ең жақсы сапасын шығаруда газдың көмегімен алынуы мүмкін (7.20-сурет).

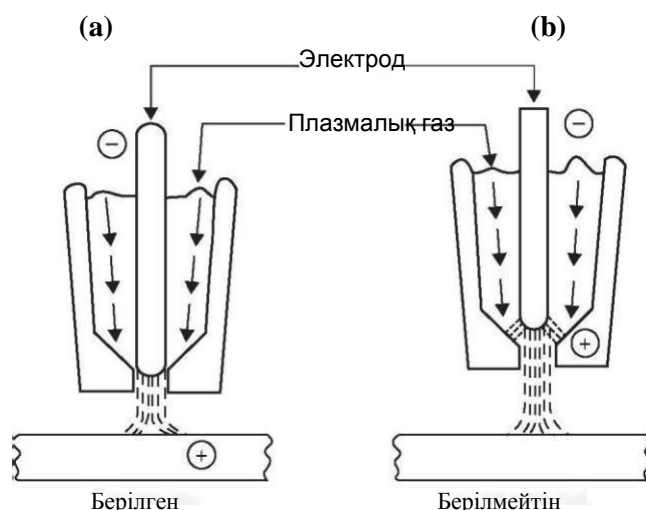
7.4.4 Плазмалық кесу

Плазмалық доғалы кесуде газ ағыны иондалып, вольфрамды электрод мен дайындама аноды арасындағы доғада сығылып жоғары температураға дейін ($20\ 000^{\circ}\text{C}$ -қа жуық) қызады. Материал жоғары жылдамдықпен, газдың жоғары температуралы ағынымен (плазмамен) алынады. Плазма сумен суыта отырып шүмектен өтеді, ол газ ағынын қажетті жерге бағыттайды. ПДК-ді электрлік сым металдар мен қорытпаларды көміртек болаты, алюминий және тот баспайтын болат ретінде, тік сызық кесінділерімен немесе тез жүрістегі профильмен кесу үшін қолдануға болады. Қалыңдығы 150 мм-ге дейінгі қалың материалдарды кесу қабілетіне ие. Соңғы уақытта өткізетін немесе өткізбейтін материалдарды ПДК-мен кесу ең тиімді бола бастады. Ең басты тартымдылығы ПДК-нің жұмсақ болатқа қарағанда тот баспайтын болатта тез қысқартатын жалғыз әдіс болуы.

Дегенмен, ПДК-нің көптеген кемшіліктері бар, оларға кесу түбінде қақтың түзілу мүмкіндігі және байқалып тұратын қалпына келген қабат және ТЭА (термиялық әсер ету аймағы) жатады. Бұл беттің дәлдігі мен сапасын да төмендетеді. Бұдан бөлек, процесс жоғары қуатты қажет етеді және көз жарақатына (катарактаға) және ұйқыдан айрылуға алып келетін улы уларды, инфрақызыл және ультракүлгін сәулелерді түзеді. Бастапқы доғаның айналасында сыртқы қорғаныс газы қолданылуы мүмкін.

ПДК жүйелері не берілген доға режимінде, не берілмеген ағын режимінде жұмыс істейді. Ауыстырылған доға режимінде (7.21а-сурет) доға $30\ 000^{\circ}\text{C}$ -қа дейін температура тудыра отырып, плазмалық жанарғының артқы теріс электродынан өткізуші бұйымға (+ ve электрод) шығады. Ауыстырылған жүйелердің жоғары тиімділігінің арқасында олар алюминий сияқты отынды оттегімен кесуге төзімді жоғары электр және жылу өткізгіштікке ие материалдарды қоса алғанда кез келген электр өткізгі материалды кесуде жиі қолданылады.

Берілмеген доға режимінде (7.21б-сурет) доға жанарғының өзімен жанады. Плазма температураны $16\ 000^{\circ}\text{C}$ -қа дейін жоғарылата отырып, шүмек тесігі арқылы ағын түрінде шығады. Факелдің өзі анод түрінде ауыстырылатындықтан анодты жылудың көп бөлігі суытатын сумен алынады және сондықтан да материалды жою процесінде тиімді қолданылмайды.



7.21-сурет. а) жылжымалы және б) берілмейтін плазмотродар. (Калпакджаннан алынды [10].)

Басқа әдістермен кесу қиын болатын өткізбейтін материалдар көбінесе берілмейтін плазмалық жүйелермен сәтті кесіледі. Шүмек диаметрі доға тогына және жұмыс газының шығынына тәуелді. Әдетте He , N_2 , N_2 жұмыс газдары немесе олардың қоспалары қолданылады. Газ шығыны табактың қуатына және қалыңдығына қарай $0,5\text{-}6\ \text{м}^3/\text{сағ}$ құрайды. Жұмсалмайтын электродтар тозуға кедергі келтіру үшін 2% торийленген вольфрамнан дайындалған.

7.5 Дәстүрлі емес өңдеу процестері - болашағы

Көптеген ДЕӨП ДӨП-мен салыстырғанда материалды жою жылдамдығы төмен және меншікті жою жылдамдығы жоғары; ДӨП ДЕӨП-дегі 1-5000 кВт/см³-мин диапазондағы меншікті жою жылдамдығымен салыстырғанда, төмен меншікті жою жылдамдығына ие (жонып өңдеу үшін – 0,1 кВт / см³-мин, жону үшін – 0,2-0,4 кВт/см³-мин және ұсақтау үшін – 0,4-1 кВт/см³-мин), бұл ДЕӨП үшін әдетте айтарлықтай жоғары тұтынылатын қуат қажет екенін білдіреді (7.5-кесте). Кестеде сондай-ақ әр ДЕӨП үшін аспаптық құралдар, жұмыс ортасы, әдеттегі жұмыс параметрлері, сондай-ақ нақты жою жылдамдығы көрсетілген. 7.22-суретте 25 мм номиналды диаметрге сүйене отырып, ең кең таралған ДЕӨП үшін беттің кедір-бұдырлық диапазоны және шектер диапазоны көрсетілген, ал 7.6-суретте осы тарауда қарастырылатын ДЕӨП-нің негізгі сипаттамалары және қолданылуы келтірілген.

ДЕӨП болашағы тұрақты түрде дамуда. Дегенмен дәстүрлі емес өңдеу процестері қазіргі таңда қолданылатын дәстүрлі құралдардың орнын баса алмауы мүмкін. Көптеген ДЕӨП процесс параметрлері бойынша компьютермен басқарылады, бұл процестің сенімділігін және қайталануын қамтамасыз етеді. ДӨП-мен салыстырғанда ДЕӨП шектелген көлемді МЖЖ-ны қоспағанда шексіз мүмкіндіктерге ие. Жыл өткен сайын дәстүрлі емес өңдеу процестеріне баса назар аударылуда, бұған техникалық баяндамалар, конференциялар, кітаптар, техникалық симпозиумдар санының артуы дәлел [16].

7.5-кесте. ДЕӨП-не арналған құралдар, жұмыс орталары, әдеттегі жұмыс параметрлері және меншікті жою жылдамдығы

ДЕӨ-процесі		Пайдалану параметрлері		Жұмыс ортасы	Құрал	Меншікті жою жылдамдығы (кВт / см ³ -мин)
МЕХАНИКАЛЫ Қ	Ағынды өңдеу	АҚӨ	$p = 1-9 \text{ atm}, v = 0.5-1 \text{ Mach}, \text{ ААҚ} = 0.5-20 \text{ mm}, d_g = 10-80 \text{ }\mu\text{m}$	Абразивті $\text{Al}^{\circ}\text{O}_2, \text{ SiC}$, және	Шүмек	100-1000
		ГАӨ	$p_n = 1300^{\wedge}-000 \text{ atm}, v = 1-3 \text{ Mach}, \text{ ААҚ} = 2.5-5 \text{ mm}$	Су, май, спирт	Шүмек	>5000
		АСАӨ	$p_n = 1300-3500 \text{ atm}, v = 1-2 \text{ Mach}, \text{ ААҚ} = 2.5-5 \text{ mm}, d = 90-200 \text{ }\mu\text{m}$	Су + абразив	Араластырғыш құбыр	1000^1000
	УДӨ	$f = 18-25 \text{ kHz}, \% = 10-50 \text{ }\mu\text{m}, F_s = 0.1-50 \text{ N}, d_g = 10-100 \text{ }\mu\text{m}$	Сұйық саз	Қалақша, құрал, абразивтер	10-100	
Химиялық	Хим-жону	$T = 20-95 \text{ }^{\circ}\text{C}$, сәйкес келетін улағыш	Улағыш	Жабын	1-10	
Электрхимиялық	ФХӨ (SE)	Тек электр өткізгіш материалдар үшін	$T = 35-100 \text{ }^{\circ}\text{C}, p_e (= 0.2-1.5 \text{ MPa}, \text{ сәйкес келетін улағыш}$	Травитель	Фоторезист	1-10
	ЭХӨ		$I = 50-60 \text{ 000 A}, J = 1.5-8 \text{ A/mm}^2, E = 5-15 \text{ V}, h = 0.1-1 \text{ mm}, p_e = 1-10 \text{ atm}$	Электролит	Ток өткізетін құрал	3-10
	ЭХА		$I = 50-3000 \text{ A}, J = 1-3 \text{ A/mm}^2, E = 5-15 \text{ V}, v_g = 1200-2400 \text{ м / мин}$	Электролит	Металл байланыстары бар ажарлау шеңбері	2-8
Жылулық	ЭЭӨ		$i_d^{\delta} = 0.1-500 \text{ A}, V = 50-300 \text{ V}, h = 10-500 \text{ }\mu\text{m}, t_d = 2-2000 \text{ ps}, f = 1-500 \text{ kHz}, z = 0.1-0.95$	Диэлектрлік	Ток өткізетін құрал	2-5
	ЭСӨ		$V_b = 50-150 \text{ kV}, i_b = 100-1000 \text{ pA}, P = 2-60 \text{ kW}, f = 0.1 \text{ Hz to } 16 \text{ kHz}, t_d = 4 \text{ ps to } 60 \text{ ms}$	Вакуум 10^{-5} Torr	ЕВ	450
	ЛСӨ		$V = 4.5 \text{ kV}, \text{ ААҚ} = 1.5 \text{ mm}, X = 0.6-10.6 \text{ }\mu\text{m}, E^{\circ} = 20 \text{ kW}$	Ауа	ФУНТТЫ	2700
	ПСӨ (РАС)		$V = 30-250 \text{ V}, P = 200 \text{ kW}, I = 50-1000 \text{ A}, \text{ ААҚ} = 6-10 \text{ mm}$	Плазма $\text{Ar}, \text{ H}_2, \text{ N}_2$	Шүмек	1^1

Жұмыс параметрлері: p_n = шүмектегі қысым, v = ағын жылдамдығы, ААҚ = ұстау қашықтығы, D_g = абразивті ұнтақ диаметрі, f = жиілік, % = тербелістер амплитудасы, F_s = статикалық күш, Q = шығын, T_e = улау температурасы, p = улау p_r , I = өңдеу тогы, J = ток тығыздығы, E = ұяшық кернеуі, H = саңылау қалыңдығы, p_e = электролит p_r , V_f = тангенциальді жылдамдық ГВ, ИД = разрядтау тогы, v_o = қуат кернеуі, Φ = ұшқын түзілу жиілігі, t_d = разрядтау ұзақтығы, z = міндеттер шеңбері, ВБ = кернеу ойығы, x = толқын ұзындығы, e° = лазерлік шындық қуат, ИБ = ағымдағы БЭ-ні өңдеу, V = кернеу, Π = плазма күші және I = плазма тогы. Алынды: Юсеф [4], рұқсатпен.

7.6-кесте. ДЕӨП негізгі қызметтері және қосымшалары

ДЕӨ-процесс	АҚӨ	Сипаттамалары және қолданылуы
МЕХАНИКАЛЫҚ	ГҚӨ	Жырашықтарды кесу, тесу, қылауларды жою, нәзік және қатты материалдарды жою / бетті тазарту, шыныны жібіту, гидравликалық клапандардағы айқасқан тесіктерді жою, медицинада қолдану, тефлонды, нейлонды, дерлинді / қоршаған орта ластаушыларын жою
	ҚСАӨ	Тастар мен гранитті, металдарды кесу, FRP мен РСВ-ны өңдеу, ағаш, тері, қағаз, ет және мұздатылған өнімдерді кесу / термиялық зақымданусыз / шулы (ұстағыштар қажет), қымбат тұратын жабдық / гранит, металл, шыны, FRP, Ті-қорытпалар сияқты жұмсақ және қаттыбарлық материалдарды кесуге арналған экологиялық қауіпсіз гибридігі процесс. Шыны, керамика, германий сияқты қатты қорытпалы және нәзік материалдарды, қатты қорытпалы материалдарды тиімді өңдейді / жұмсақ материалдар үшін ұсынылмайды / материалдың дәлдігі мен тозуына байланысты / үлкен өлшемді қуыстар үшін (40 мм-ге дейін) қолдануға жарамайды
	УДӨ	Барлық дерлік материалдар, тіпті шыны мен германий механикалық өңдеуге ұшырайды / 12 мм-ге дейін тереңдікке шектелген / шағын өндірістік циклдер үшін жарайды / беттік кернеусіз / шығынсыз / қымбат емес құралдар мен жабдықтар / құны / әуе-ғарыштық және металл өңдеу өнеркәсібінде қолданылады
Х	Хим-жону	Металл материалдармен шектелген / максимум 2 мм жұқа табақтарымен / қылаусыз / құралдың төмен құны / құралдың жоғары құны /ХФ көмегімен жонуға қарағанда ену жылдамдығы жоғары / микроэлектроника мен мөрлік тақшаларды өңдеуге қолдануға жарайды. Қиын өңделетін электр өткізгіш материалдар үшін, күрделі пішіндер мен турбиналық қалақтар өндірісінде қолданылады / кернеусіз және қылаусыз / қымбат құрал / құралдың тозуы нөлдік / жою жылдамдығы ток пен материалға байланысты / қиын электролит
	ФХӨ (ЭЭ)	Гибридігі процесс, қиын өңделетін металдар мен қорытпалар үшін қолданылады / әдеттегі ажарлауға қарағанда қылаусыз, шағын қалдық кернеулерсіз және өте жақсы дәлдіксіз / өте жақсы бет интеграциясы / металмен байланысқан ажарлау шеңберінің аз тозуы / құралды қайрау / қымбат тұратын ажарлау шеңбері, қымбат тұратын жабдық, жемірілу қауіпі, электролитті пайдаға жарату қиындық тудырады. Ең кең таралған ДЕӨП – электр өткізгіш материалдардағы күрделі қуыстарды олардың қаттылығына қарамастан өңдеу / шынықтырылған болаттар мен карбидтерді қалыптау / ТӘА, RL / құрал құнының төмендеуіне байланысты әдеттегі ЭЭӨ-ге қарағанда ED-ні жонып өңдеу арқылы микроөңдеу дұрысырақ / қымбат тұратын жабдық
ЭХ	ЭХӨ	Тесіктер жасау және кез келген материалды жұқа табақ етіп кесу, сығылу коэффициенті жоғары микротесікте / материалдың сәл ғана жойылуы / ТАӨ, RL / вакуум қажет / қымбат жабдық / сақтық шаралары Барлық материалдар өңделуі мүмкін, бірақ шағылыстыратын материалдарды өңдеу қиын / жұқа табақтардағы микротесіктер үшін қолдану / материалдың сәл ғана жойылуы / ТАӨ, RL / вакуумды қажет етпейді / қымбат тұратын жабдық / қауіпті (аса сақ болу қажет)
	ЭХА	Тез әрі тиімді процесс / қалыңдығы 200 мм-ге дейінгі пластиналардағы профильдерді кесу / қиын өңделетін материалдарды қаралтым қайрау / тот баспайтын болаттарды, суперқорытпаларды, алюминийді және т.б. кесу үшін қолданылады / Қатаң түрде ТАӨ және RL
ЖЫЛУЛЫҚ	ЭЭӨ	
	ЭСӨ	
	ЛСӨ	
	ПСӨ (РАС)	

Юсефтен [4], рұқсатпен.

Әдебиетке сілтемелер

- [1] Machinability Data Center (1980) *Machining Data Handbook*, 3rd edn, Metcut Research Associates, Cincinnati, OH.
- [2] Youssef, H.A., El-Hofy, H. (2008) *Machining Technology, Machine Tools and Operations*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- [3] Youssef, H.A., El-Hofy, H.A., Ahmed, M.H. *Manufacturing Technology: Materials, Processes, and Equipment*, 1st edn 2011, CRC Press, Taylor & Francis, Boca Raton, FL.
- [4] Youssef, H.A. (2005) *Non-Traditional Machining Processes: Theory and Practice*, Alexandria: El-Fath PreТББ (in Ara-bic).
- [5] Youssef, H.A. (1967) *Herstellgenauigkeit beim stoflappen mit Ultraschall frequenz*. Dr.-Ing. Dissertation.
- [6] El-Hofy, H. (2005) *Advanced Machining Processes - Nontraditional and Hybrid Machining Processes*, McGraw-Hill, New York.
- [7] Lauwers, B., Klocke, F., Klink, A., *etal.* (2014) Hybrid Processes in manufacturing. *CIRP Manuf. Technol.* **63**(2): 561-583.
- [8] Schubert, A., Hackert-Oschatzchen, M., Meichsner, G. *et al.* (2011) Precision and micro ECM with localized anodic dissolution, in J.M. Slabe (ed.), *TECOS Slovenian Tool and Die Development Centre, Celje: Proceedings of the 8th International Conference on Industrial Tools and Material Processing Technologies*, 193-196.
- [9] Burger, M., Platz, A., Werner, E. (2007) Herstellung/Nachbearbeitung von Turbinenblisks durch Präzises Elektro-chemisches Bearbeiten, TUM, <http://www.wkm.mw.tum.de/forschung/postergalerie/> (accessed April 19, 2015).
- [10] Kalpakjian, S. (1985) *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, Addison-Wesley, Reading, MA.
- [11] Sharma, S., Jain, V.K., Shekhar, R. (2002) Electrochemical drilling of Inconel super alloy with acidified sodium chloride electrolyte *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* (2002) **19**:492-500.
- [12] ViТББер, A., Junker, M., and Weissinger, D. *Spruhatzen metallischer Werkstoffe*, 1EΘ edn, 1994, Eugen G. Leuze Verlag, Bad Saulgau.
- [13] König, W., *Fertigungsverfahren*, Band 3: Abtrieb, VDI Verlag, Düsseldorf, 1990.
- [14] Steigerwald, K.H., *Materialbearbeitung mit Elektronenstrahlen*. 4. International Kongress für Elektronenmikroskopie, Springer, Berlin, 1958.
- [15] Visser, A. (1966) Werkstoffabtrag mittels Elektronenstrahl. Dr.-Ing. Dissertation. TH Braunschweig.
- [16] Davis, J.R. (1989) *Metals Handbook: Machining*, Vol. **16**, ASM International Materials Park, OH.
- [17] Rykalin, N., Uglov, A., Zuev, I., Kokora, A. (1988) *Laser and Electron Beam Material Processing Handbook*, MIR-Publishers, Moscow.

8

Тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды дәстүрлі емес өңдеу

Тот баспайтын болаттар (ТББ) және ыстыққа төзімді қорытпалардың көбісі дәстүрлі өңделетін кезде, дәстүрлі емес әдістер олар сенімді айтқайтын кезде қолданылады. Мұндай негіз соққылық жабысқақтық және беріктік экстремумдарындағы қоспаларды өңдеу немесе күрделі профильдерді өңдеу кезінде шығындардың экономиясын болжайды. Бұл тарау әдебиеттегі бар деректер, компания мен басшылық туралы мамандандырылған ақпарат негізінде, өңдеудің дәстүрлі емес тәсілдерінің кейбірі тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларға сәтті қолданылғандығын сипаттайды. Сонымен қатар, кейбір гибриді процестер бұл материалдарды өңдеу, әсіресе термиялық өңдеу (ТӨ) процестері үшін маңызды және перспективті болып саналады.

8.1 Тот баспайтын болаттар және ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеудің механикалық дәстүрлі емес процестері

8.1.1 Ағындық өңдеу

Абразивті-ағындық өңдеу (ААӨ) қатты материалдарға көбірек келсе де, ол қылауларды кетіру мен тот баспайтын болаттан қоспаларды тазарту үшін қолданылады. Ағындық өңдеу процестерін қолданудың артықшылықтарының бірі олардың термиялық процесс болмауында. 8.1-кесте ААӨ өңделген, АТБИ-316 тот баспайтын жұмсақ аустениттік болаттың өңделген жұмсақ бетін көрсетеді. Бастапқы беті $Ra = 0,47$ мкм дейін тегістелді.

Суағынды өңдеу (САӨ) 300 сериялы ТБ-қорытпасы және өлшемдері 0,25-тен 100 мм-ге дейін болатын 400 дайындаманы кесу үшін қолданылады. Абразивті су ағыны (ААӨ) су ағынының (СА) әмбебаптығына ғана ие емес, сондай-ақ қаттырақ және тығыз бөлшектер үшін қолданылу мүмкіншіліктерін кеңейтеді. Абразивтерді қосу ыстыққа төзімді қорытпалар, тот баспайтын болаттар, композиттер мен керамика сияқты қиын өңделетін материалдарды кесуге мүмкіндік береді. Абразивті-суағынды өңдеу (АСАӨ) тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпалардан жасалған күрделі формаларды автоматтандыру мен кесу үшін жақсы сәйкес келеді.

8.1-кесте. ААӨ-дағы ТББ АТБИ-316 жасатылған үшін беттің кедір-бұдырлығы

Абразивті	Түйіршік көлемі (мкм)	Ra (мкм)
Al_2O_3	25	0,25-0,53
	50	0,38-0,96
SiC	20	0,3-0,5
	50	0,43-0,86
Әйнек моншақтар	50	0,30-0,96

Бастапқы бет $Ra = 0,47$ ПМ дейін тегістелді. Деректерді өңдеудің өңдеуші орталығынан берілген [1].

8.2-кесте. АСАӨ қолданып, кейбір ТББ-қорытпалар үшін кесу жылдамдықтары

Тот баспайтын болат қорытпасы	Өңдеудің жағдайы	Тақай қалыңдығы(мм)	Кесу жылдамдығы (мм/мин)
PH-S 15500 (15 Cr-5Ni)	Қысым: 310 МПа,	3	230-380
	60 тор гранатымен	64	13-25
Аустенит-S31600 (шыбықша)		76 (диаметр)	13-50
Мартенсит-S17400 (630)	Қысым: МПа 200,	25	50
	60 тор гранатымен		

Шварцтан берілген [3].

Ол плазмалық-доғалық өңдеуге карағанда баяуырақ және электроэрозиялық өңдеуден (ЭЭӨ) айтарлықтай ерекшеленеді, бірақ қалдық кернеулерді немесе термиялық әсер ету аймағын (ЖӨА) енгізбейді [2]. 8.2-кестеде кейбір АСАӨ-ме өңделген ТББ көлденең кесу жылдамдықтары берілген [3]. 8.1-суретте ТББ-тілімшенің кесу жылдамдығына (траверс жылдамдығы) ықпалы болжамдалады [4].

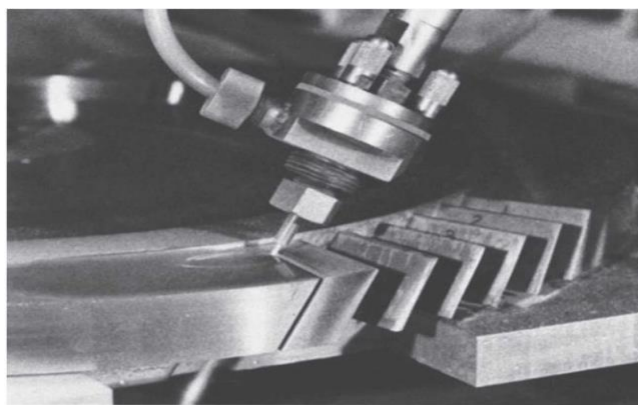
8.2-суретте AWJ-мен өңделген 45 мм қалыңдықтағы инконел тұтас дискісінен жасалған диаметрі 760 мм болатын турбиналық дөңгелек көрсетілген. Мақсат материалды турбина қалақшаларының арасынан өшіру. Ең соңғы форма қалыптастыру жалпы өңдеу уақыты 48 сағатты құраған электрохимиялық өңдеу (ЭХО) тәсілімен орындалды[2].

8.1.2 Тот баспайтын болаттарды және ыстыққа төзімді қорытпаларды ультрадыбыстық өңдеу (УДӨ)

Әдетте, УДӨ тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпалардың барлық түрлерін өңдеуді ұсынбайды, себебі мұндай процесс тек қана қатты және нәзік материалдарды өңдеуге арналған (7-тарауды қараңыз). Алайда, әдебиетте Неппирас және Фоскет [5] 1957 жылы ТББ 304 ультрадыбыспен кесуге талпыныс жасады, онда олар В4С бор карбидін қолданды (100 торы). Олар материалдың жойылуының өте төмен жылдамдығы (МСА) 3 мм³/мин туралы хабар берді. Тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпалар ультрадыбыспен өңдеу кезінде дәл сондай өңдеу шартында 100 индексті содалық әйнек негізінде 2 индекс алады. Содан бері әдебиетте тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпалардың УДӨ-мен байланысты үміттендіретін техникалық деректер табылмады. Алайда жақында (2003 ж.) Саябақ, Мен Хо Самчок атындағы ұлттық университет, Корея жоғарғы жиілікті 60 және 75 кГц түрлендіргіштерді, сәйкесінше 8 және 4 шамалас амплитудаларын қолданып, Инконель үшін УДӨ озық технологиясын жасап шығарды. Мұндай қысқатолқынды диапазон жиіліктері мен төмен амплитудалар жоғары тиімді және нақты УДӨ Инконель қамтамасыз етеді.



8.1-сурет. ТББ-тілімшесінің қалыңдығының АСАӨ-дағы орын ауыстыру жылдамдығына ықпалы. (Юсефиң [4] рұқсатымен)



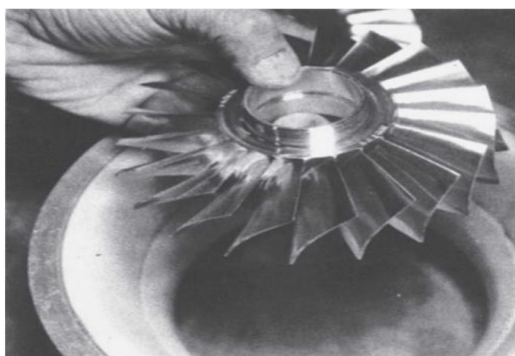
8.2-сурет. Турбинаның жұмыс дөңгелегінің тұтас қалақшасын жасау үшін Инконель дискінің АСАӨ (Металлдар бойынша анықтамалықтан бейімделген [2].)

8.1.3 Тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды абразивті-ағындық өңдеу

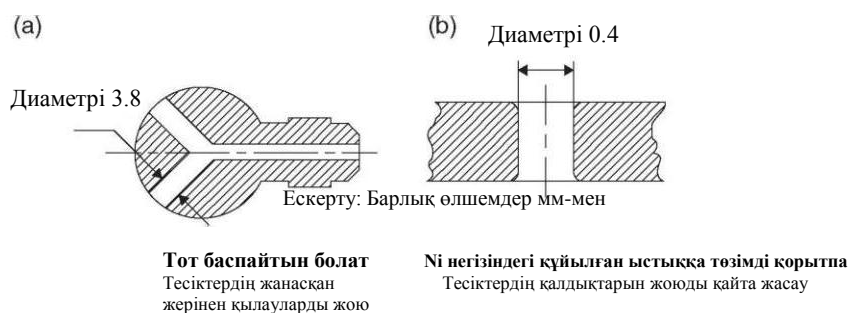
Ағынның абразивті өңдеуі (ААӨ) алғашқыда клапандар корпусы мен әуе кемелерінің компоненттерінен қылаулардың сыни алынуы үшін құрастырылды. Басқа қолданулары турбинаның әрлеуін, монокристалл қалақты роторларды (МҚР), компрессор дөңгелектерін, турбина дискілерін және тістегершікті қамтиды. ААӨ-мен өңделген МҚР фрезерленген беттері бар болғаны 15-30 минут жұмысты қажет етеді. Олардың бетті әрлеуі қолмен әрлеу сағаттарын алып тастап, айтарлықтай жақсартылған (8.3-сурет).

Басқа маңызды қолданулар:

- ААӨ-орталар қылауларды жоюдың дәстүрлі тәсілдеріне күрделі мәселе болатын кесіп өтетін және жанасатын тесіктерді оңай өңдейді. Тесіктердің жанасуынан қылаулардың жойылуы тот баспайтын болат бөлшектен (8.4а сурет).



8.3-сурет. МҚР ұшағының фрезерленген беттері ААӨ-мен әрленген. (Металлдар бойынша анықтамалықтан. [2].)



8.4-сурет ААӨ қолданып Ni негізіндегі тот баспайтын болат пен ыстыққа төзімді қорытпаны өңдеу: (а) тот баспайтын болат; (б) никель негізіндегі құйылған ыстыққа төзімді қорытпа. (Деректерді өңдеудің өңдеуші орталығынан бейімделген[1].)

Көденең тесілген және жанасатын тесіктер үшін ААӨ-ды эксплуатациялау шарттары:

Түйіршік түрі SiC, 700 грит
Экструзия қысымы 30 бар
Процесс уақыты 1,5 минут
Жүріс саны 6 дана / Крепеж 1
Беттің кедір-бұдырлығы Ra = 0,4 ПМ

- Құйылған литий никель ыстыққа төзімді қорытпаларының кішігірім тесіктерінен қалдықтардың жойылуын қайта қарау (8.4б-сурет).

ААӨ-ды қолданып қайта өңдеу қалдықтарын жою үшін эксплуатация шарттары:

Түйіршіктік түрі SiC,
түйіршіктік 220 г

Экструзия қысымы 32 бар
 Жүріс бойынша емес, көлем бойынша бақыланатын
 процесс уақыты, уақыт бойынша емес дана / 1 бекіту
 Беттің кедір-бұдырлығы $Ra = 0,8 \text{ ПМ}$.

Екі бөліктің де әрлеуі үшін қолданылатын жабысқақтық орта Dynetics D080 болды. Беттің әрлеуі ең бастысы 20-дан 700-ге дейін ауытқитын абразивті түйіршіктің көлеміне байланысты.

8.2 Тот баспайтын болаттарды және ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеудің электрхимиялық және химиялық процестері

8.2.1 Электрхимиялық өңдеу

Турбомашиналар жүйесі арнайы жоғары температуралы, жоғары берік және тозуға төзімді материалдардың қолданылуымен сипатталады. Мұндай күрделі өңделетін материалдардың қарапайым құралдарды пайдаланып өңдеу өте күрделі тапсырма болып табылады, ол жиі төмен МЖЖ-ге, кесудің жоғары күшінен дәлдіктің төмендеуіне, жоғары тозудан құралға жоғары шығынға және сәйкесінше процестің төмен тиімділігіне алып келеді. Бұдан бөлек, беттің алынған тұтастығы турбомашинаның компоненттері өндірісінің өмірге бейім баламалы технологиясын көрсетеді. Сондай-ақ, беттің алынған тұтастығы тоғынның термомеханикалық өзгертілген немесе зақымдалған аймақтарымен жиі сипатталады [6]. Осылайша, технологиялықпен қатар өндірістің экономикалық дұрыс технологияларын қолдану үлкен қызығушылық туғызуда.

ЭХӨ-нің негізгі артықшылықтары болып оның процеске тән жоғары МЖЖ сипаттамаларының құралдың толықтай дерлік тозуының болмауымен қатар жүруі болып табылады. ЭХӨ арнайы ірі сериялы өндірісте қолданылады және турбомашиналар компоненттерінің өмірге бейім баламалы өндіріс технологиясын көрсетеді. Сондай-ақ, жоғары МЖЖ дайындама бетінің жақсы сапасына ақ кабаттардың, тұмандардың немесе деформациялық беріктіктің пайда болуынсыз қол жеткізу кезінде жүзеге асырылуы мүмкін [7].

Аэроғарыштық сектор мысалында Ti және Ni негізіндегі қорытпалар әуекозғалтқыштарындағы құрастырушылық материалдар ретіндегі ең қолайлы екендігі анықталған. Мұндай материалдардың температуралық қасиеті бастапқы өндірістің түрлі технологияларымен жаңа материалдарды құрастыру есебінен үнемі артып тұрады [8]. Түйіршіктердің шекаралары болмағандықтан монокристаллды материалдар поликристаллды материалдарға қарағанда сырғудың жақсы қасиеттеріне ие және сондықтан да одан да жоғарырақ температураларда қолданылуы мүмкін [9]. Мұндай жаңа материалдар мен композиттердің полимерлі матрицамен - РМС (желдеткіш қалақшалары компоненттері үшін) қолданылуы бұдан басқа тиісті өндіріс технологиясын құрастыруды талап етеді [10].

8.3-кесте кейбір ТББ-қорытпалардың ЭХӨ-ы үшін қолданылатын ұсынылатын электролиттерді (олардың концентрациясы мен кіру температураларымен қатар) иллюстрациялайды. 8.4-кестеде Фарадейдің негізгі теңдеуі бойынша есептелген ТББ-қорытпалар үшін теориялық өшіру жылдамдықтары келтірілген.

8.3-кесте. ТББ ЭХӨ үшін қолдануға ұсынылатын электролиттер

Тот баспайтын болат қорытпасы	Электролит	Шоғырлану (г/л)	Кіріс температурасы (°C)
410 тип (мартенситті)	NaCl or NaCl + NaNO ₃	36 192–216	27 46
302 тип (аустенситті)	NaCl + NaF	30–32	38
303 тип (аустенситті)	NaCl + NaNO ₃	120–140	21
316 тип (аустенситті)	NaCl	120	38
517400 (CuEӨom 630) (enh., PH, Mart.)	NaCl or NaNO ₃	96–120 240	27 38
Пайромет А-286	NaNO ₃	240	38

Дереккөз: Өңделетін деректерді өңдеу орталығы [1].

8.4 кесте. Эхо пайдаланушы 630 және А-286 НС-қорытпалар үшін еориялық жою жылдамдығы

Тот баспайтын болат қорытпасы	150 А/см ² үшін теориялық жою жылдамдығы (см ³ /мин)
S17400 (Қолданушылық 630)	2.0
Пайромет А-286	1.9

Дереккөз: Өңделетін деректерді өңдеу орталығы [1].

8.5-кесте. Ыстыққа төзімді қорытпалар мен тот баспайтын болаттарға арналған ЭХӨ металды кетіру теориялық жылдамдығы Фарадейдің ПӘК-і = 100%, 1000 а тогын пайдалана отырып есептелген

Жұмыс материалы	МСА, I = 1000 А негізделген (см ³ /мин), η = 100%	Болжамды валенттілік (n)
<i>Ыстыққа төзімді қорытпа</i>		
А-286 ^a	1.92	Al = 3, Nb = 3, Co = 2, Cr = 3, Cu = 2, Fe = 2, Mn = 3, Mo = 4, Ni = 2, Ti = 4, W = 6, V = 5, C = 0, және Si = 0
М 252	1.80	
Рене-641	1.77	
Юдимет 500	1.80	
Юдимет 700	1.77	
Хайнс 25 (L605)	1.75	
<i>Тот баспайтын болат</i>		
17-4РН (ҚББЖ 17400)	2.02	МСА = (600/F) (N/n) _{eq} · I · 1/ρ см ³ /мин F = 96 487 А·с/mol, (N/n) _{eq} = анодтың химиялық эквиваленті, ал ρ = анодтың тығыздығы

^a А-286 бұл тот баспайтын болат пайрометі.

ЭХӨ жоғары дәлдік процесс болып табылады. Тоқ желілерінің таратылуы бұрыштар мен жиектерінің домалануына алып келеді. Осылайша өткір бұрыштары ЭХӨ -да қосылмауы мүмкін. 0.12 шамалас рұқсат етулер ЭХӨ ыстыққа төзімді қорытпалар мен тот баспайтын болаттар үшін типтік болып табылады, бұл уақытта 15 пм немесе одан аз өлшемдер дәлдігі тоқ ағынын тек қана өңделген телімдерге бағыттау үшін құрал катодының арнайы экрандау және маскировка кезінде айтылды [11].

8.5-кестеде 1000 а тоқты қолданумен Фарадей заңымен есептелген және NaCl-электролитті қолдану кезінде жүзеге асатын тоқ бойынша 100% тиімділікті болжайтын ыстыққа төзімді қорытпалар мен тот баспайтын болаттардың кейбір таңдалған түрлерінің ЭХӨ-ы үшін өшіру жылдамдығының теориялық мәні көрсетілген. Кестеде берілген қоспалауыш элементтердің валенттілігі өңделген қорытпалардың химиялық ерітіндісін басқарады деп болжанады.

8.6-кестеде ұсынылатын электролиттер, сондай-ақ кейбір типтік ыстыққа төзімді қорытындылары мен тот баспайтын болаттарының ЭХӨ-ы үшін қолданылатын олардың ұсынылатын концентрациялары мен кірудегі температуралары берілген.

Көп жағдайда қарапайым NaCl-ды, содан соң тек қажет болған жағдайда одан да күрделі электролиттерді байқап көріңіз.

8.6-кесте. Тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпалардың ЭХӨ-ы үшін электролитті таңдау бойынша (құрамы, концентрациясы және кірудегі температура) нұсқаулық.

Өңделетін материал	Электролит			Ескертулер
	Құрамы	Концентрация (г/л)	Intel температурасы(°C)	
<i>Fe негізіндегі ыстыққа төзімді қорытпалар</i>				
A-286 (BT)	NaNO ₃	240	38	NaClO ₃ мамандандырылған қолданулар үшін ЕӨ (не Вы) үздік нәтижелер береді
<i>Ni-базалық</i>				
M252 (W)	NaCl	240	41	
Уаспалой (W)	NaCl	120	35	
Астролой (W)	NaCl	240	24	
	NaNO ₃ или	120-240	38	
	NaCl + NaF	90+30	38	Онай және тез кеседі
Инконель 700 (W) NaCl		120	38	
Инконель 706 (W) NaCl		96	24	
Инконель 718 (W) NaCl или		108-120	35-38	
	NaNO ₃	216-240	35-38	ЕӨ және Вы үздік нәтижелер береді
Рене 41 (W)	NaCl	258 (немесе 120)	24 (немесе 35)	
Юдимет 500 (W)	NaCl	120	38	
Udimet 700 (Вт)	NaCl	120	38	
Инконель X (W)	NaCl + NaNO ₃	240 + 60	38	
IN-100 (C)	NaCl	120	38	
Рене 80 (C)	NaCl	120	38	
Рене 125 (C)	NaCl	120	38	
Рене 95 (C)	NaNO ₃ немесе	216-240	38	
	NaCl	120	38	
<i>Co-базалық</i>				
MAR-M509	NaCl	240	32-52	
HS-21	NaCl	120	38	
Хейнс 25 (L605)	NaCl + NaNO ₃	240 + 30	38	
HS-31 (X-40)	NaCl + NaF	30 + 2.4	38	
<i>Тот баспайтын болат</i>				
302 (аустениттік)	NaCl + NaF	30 + 2.4	38	
303 (аустениттік)	NaCl + NaNO ₃	120 + 20	21	
316 (аустениттік)	NaCl	120	38	
410	NaCl немесе	96	27	
	NaCl + NaNO ₃	192 + 120	115	
17-4 PH (CuEӨom	NaCl немесе	192-120	26	
630, ҚББЖ 17400)	NaNO ₃	240	38	

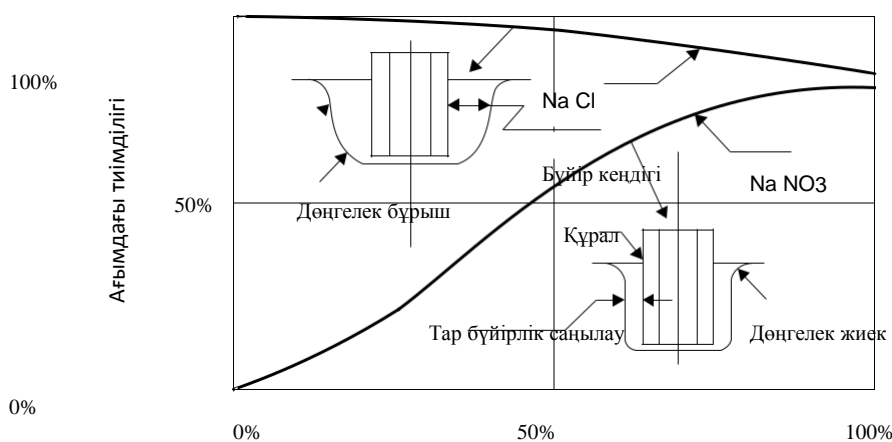
(W): соғылған, (C): құйылған, ЕӨ: күшейтілген және ескірілген. Меткуттан берілген.

NaCl өте агрессивті және арзан (30% NaNO₃ тұр). Электролит концентрациясы жабдық пен жаракта тұзды шоғырлануды азайту үшін өнімділігімен үйлесімді ең төменгі деңгейде сақталуы керек. Электролизердің кіріс жағында тұрақты электролит өткізгіштікке жету үшін температураны бақылау ұсынылған мәннен + 1 ° C-ге дейін болуы керек. Ұяшықтың ашық жасушалық кернеуі ағым жылдамдығына сәйкес келетін қажетті ток тығыздығына жету үшін орнатылған. ЭХӨ ыстыққа төзімді қорытпалары мен тот баспайтын болат үшін типтік кернеу параметрі 10-дан 25 V-қа дейін [1].

Электролит тесіктер мен қуыстардың кеңістіктік бақылауында маңызды рөл атқаратындығын атап өту керек. Мысалы, NaCl нитраттардан (NaNO₃) қарағанда әлдеқайда нақтырақ компоненттерді береді, олардың соңғы тиімділігі / ток тығыздығының сипаттамалары арқасында әлдеқайда жақсы өлшемді бақылауға ие. Сурет 8.5-суретте көрсетілгендей, NaNO₃-ні қолданған кезде ағымдағы ток тығыздығы

ең жоғары болған кездегі ең жоғары тиімділік. Тесіктерді бұрғылау кезінде бұл жоғары ток тығыздығы аспаптың алдыңғы шеті мен дайындаманың беті арасында орын алады. Компания мен өңдеуші құралдың бүйірлік қозғалысы болмайтын бүйірлік қашықтықта, осылайша алшақтық кеңейе түседі және ток тығыздығы төмен, демек ток тиімділігі төменірек болады; Фарадейдің заңынан болжанғаннан әлдеқайда аз метал алынып тасталды. Осылайша, бүйірлік тазалау кезінде ішінара уақытша көлденең қиманы қамтамасыз ету NaNO_3 -мен азаяды. Егер орнына NaCl қолданылған болса, онда биіктеу әлдеқайда жоғары болуы мүмкін еді. Оның ағымдағы өнімділігі ағымдағы тығыздықтардың кең ауқымы үшін шамамен 100% тұрақты болып қалады. Тиісінше, бүйірлік қашықтықта тіпті ішінара жою Фарадей заңына сәйкес айқындалатын жылдамдықпен жүзеге асырылады, онда жоғары ток тиімділігі 100% ауыстырылады.

Натрий хлорат NaClO_3 ерітіндісі зерттелді. Мамандар оны пайдаланбайды, себебі ол тұтанатын; Алайда, бұл электролит натрий нитратының ерітіндісіне қарағанда жақсы лақтыру күші мен дәлірек өлшемді бақылауды береді [11]. Хлорат (NaClO_3) немесе нитрит (NaNO_2) электролиттерін пайдалану кезінде арнайы сақтық шараларын сақтау керек.



8.5-сурет. Ток бойынша тиімділік / NaCl және NaNO_3 электролиттеріне тән ток тығыздығы және онымен байланысты мәселелер.

Көптеген жағдайларда нақты МСА 8.5-кестеде келтірілген теориялық тұрғыдан есептелген Фарадей мәндерінен аз шығып кетеді. Мұндай ауытқулар жұмыс материалының дұрыс қабылданбаған валенттілігі мен ағымдағы тиімділікпен байланысты, бұл Фарадей заңында қарастырылғандай, 100% міндетті емес мәндерге жетеді. 8.7-кестеде Ti-6Al-4V -ға салыстырғанда Ti негіздегі, типтік МСА және ЭХӨ тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпалар үшін тиісті жұмыс жағдайлары көрсетілген.

8.6-сурет Рене 41 никеліне негізделген ең төменгі бастапқы кернеу $A_E = 2.6\text{В}$ -ға негізделген ЭХӨ ыстыққа төзімді қорытпасы кезде, тиісінше 0,5 және 0,25 мм екі таңдалған фронтал тепе-теңдік бос орындары үшін ашық тізбек кернеуі мен ток тығыздығы арасындағы байланысты көрсетеді

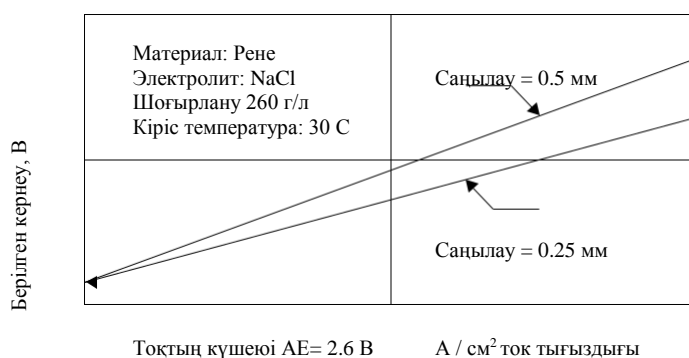
Тепе-теңдік фронтальды саңылау дербес бақыланбайды. Алайда, Rene 41-ні өңдеу кезінде ең аз кернеуді (24 В) талап етеді, ол ең үлкен кернеуді (30 В) талап етеді, бұл ток тығыздығы мен сондықтан сол ену жылдамдығы. Кішкене саңылау ұсынылады, себебі бұл қуатты аз тұтынуға мүмкіндік береді.

8.7-суретте дискінің дискідегі профильдердің механикалық қосылуын болдырмау үшін Инконель 718 компрессорының айналдырылған дискісінде тікелей өңделетін профильді көрсетеді, ол ең үлкен қаттылықты жүзеге асырады.

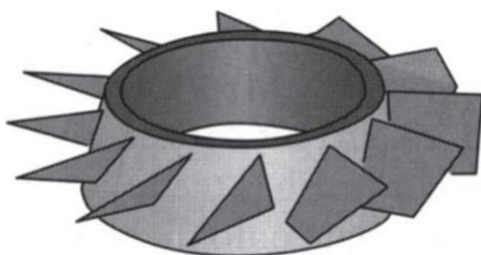
8.7-кесте. Типтік МСА және тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорыпталар үшін тиісті ЭХӨ

Жұмыс материалы	Электролит		Ең төменгі бастапқы кернеу (Е)	МСА, I = 1000 А негізделген (см ³ /минп)
	Типі	Шоғырлану (г/л)		
<i>Ыстыққа төзімді қорытпа</i>				
Инконель 718 (ЕӨ-Т)	NaCl	120	3.3	1.44
Рене 95 (ЕӨ-Т)	NaNO ₃	270	4.3	1.69
300 М (шыңдалған)	NaCl	120	1.1	2.16
MAR-M509 (С)	NaCl	120	1.2	1.57
Астролой	NaNO ₃	240	4.0	2.05
<i>Тот баспайтын болат</i>				
17-4 PH (ЕӨ-Т)	NaNO ₃	270	3.6	1.41
<i>Ті-қорытпа</i>				
Ti-6Al-4V (Күйд.)	NaCl	120	3.8	1.64

(С): құйылған, ЕӨ-Т: ерітіндіні өңдейді және ұстайды, сондай-ақ Күйд.: күйдірілген. Меткуттен берілген.



8.6-сурет. Бос жүріс кернеуі мен ЭХӨ Рене 41 кезіндегі таңдалған екі фронталды бірдей аралықтар үшін ток тығыздығы арасындағы қатынас. (Сильфоннан бейімделген [12].)



8.7-сурет. Инконель 718 компрессорының айналмалы дискінде өңделген ЭХӨ -және ИЭХӨ тікелей профилі ([13] бейімделген.)

Көпестік сандық басқару машинасы (NC)- ЭХӨ құралы айналмалы тордан профильдерді өрескел және аяқтау үшін пайдаланылады. ЭХӨ соңғы айдап өтуінен кейін тұрақты беткі қабатын және бөліктерде қанағаттанарлық рұқсатты қамтамасыз етеді; тиісінше профильдерді одан әрі өңдеу (механикалық өңдеу немесе жылтырату) талап етілмейді [13].

Кейбір мысалдар тот баспайтын болаттан және ыстыққа төзімді қорытпалардан жасалған бөлшектерді өңдеу кезінде ЭХӨ -ды пайдалануды суреттейді (8.8-сурет және 8.8-кесте).

8.8а-сурет: 2000 А ток өңдеуі мен 20 В дейінгі бос жүріс кернеуін қамтамасыз ететін (OCV) станокты қолдана отырып, Fe-негізіндегі А-286 ыстыққа төзімді қорытпасынан немесе Ni негізіндегі

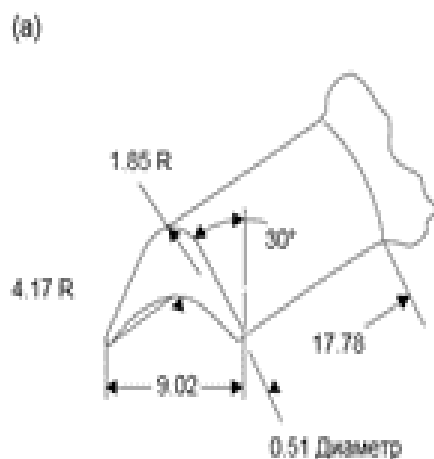
Waspaloy-дан дайындалған ЭХӨ турбина қалақшалары. Құрал қолданылатын электродCu-W қорытпасынан жасалды. Екі материал үшін де ток 100 А басталады және 150 А аяқталады. Бірінші пышақ үшін электролит NaNO_3 (концентрациясы 260 г/л), ал екіншісінде NaCl (концентрациясы 200 г/л) болды. Басқа еңбек жағдайлары 8.8-кестеде келтірілген.

8.8b-сурет: NiUdimet 700 қорытпасынан дайындалған реактивті қозғалтқыш профильді электролиттік түтікті (ПҚЭӨ) пайдалану арқылы шағын, терең тесіктермен қамтамасыз етілді. Қолданылған қышқылдық электролит H_2SO_4 (концентрациясы 10%). Мерзімді кернеуді қалпына келтіру СН7-де сипатталғандай орындалды.

8.8c-сурет: Бұл Инконель 718 роторын суреттейді, онда бірнеше кішкентай қуыстар электрохимиялық түрде өңделуі керек. Осындай кішкентай қуыстарды фрезерлеу әдетте қымбатқа түседі, өйткені шағын диірмендерді пайдалану қажет. 54 қуысты өңдеуге жеті сағат кетеді, бірақ ЭХӨ көмегімен бұл қуыстар жеке түрде де, топтарда да өңделеді. Соңғы жағдайда 54 жекелеген ауыспалы құрастырудан тұратын жез электродты құрастыру тік цилиндрге орнатылады. 18000 А, 11 VDC-генератормен жабдықталған ЕС-машина.

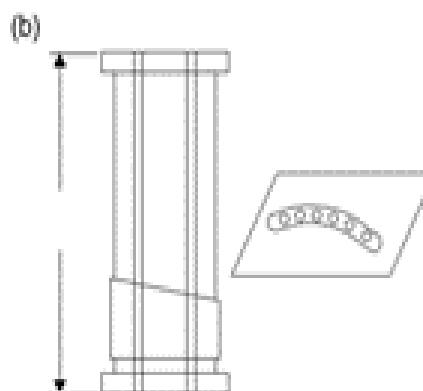
Өңдеу 1 мм / мин беру жылдамдығы бар бір insultпен жүзеге асырылады. тиісінше, өңдеу циклі г минутты қажет етеді. NaCl электролиті 120 г / л концентрациясы және 38 ° С кіріс температурасы ұсынылады. Дегенмен 8.6-кестеде келтірілген деректер бір қуыс / жүріс үшін жарамды, онда 1000А 18Vdc генераторы қажет. Беттің кедір-бұдырлығы күтіледі $\pm 1 / \text{rm} (\text{Ra}) [1] \pm 75 |$

8.8d-сурет: Бұл тот баспайтын болаттан жасалған АТБИ-316 баспайтын құбырдан жасалған саптаманың көлденең қимасын көрсетеді. ЕС құрылғысы 24 Vdc үшін максималды ток 500 ақаулықты қамтамасыз ете алады. Мыс электроды түтіктің бір жағына 20-дан бастап және 310 А-ға дейін аяқталатын конустық ағынмен жұмыс жасайды. Жүктің кернеуі 17 В болатын. Электролит NaCl (концентрациясы 120 г/л, кіріс температурасы 27 °С болды. Беру жылдамдығы 6 мм/мин. 8 минут кесу уақыты беттің $\text{Ra} = 0.12-0.25 \text{ qm}$. болатын керемет бет сапасын көрсетті.



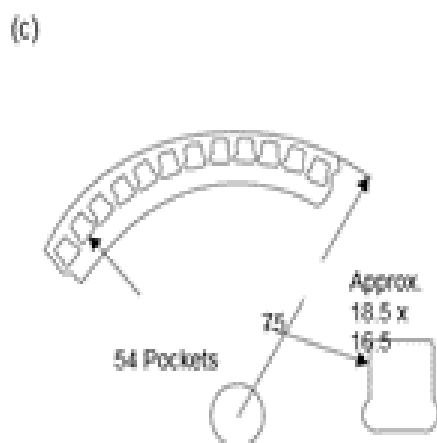
Турбина қалағы

Материал: А-286 не Уаспалой
Жұмыс: ЭХӨ



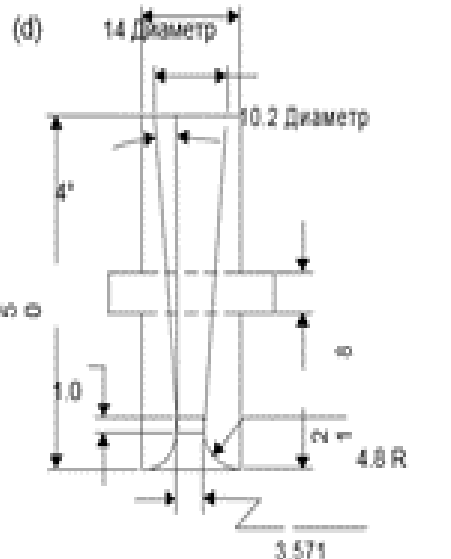
Реактивті қозғалтқыш қалағы

Материал: Кюджет 700
Жұмыс: ФҚЭӨ



Турбина дискінің қалталары

Материал: Инконель 718
Жұмыс: ЭХӨ



Бағыттаушы қалақ 3.566 Диаметр

Материал: Тот баспайтын 316
Жұмыс: ЭХӨ

Ескерту: барлық өлшемдер мм-мен

8.8-сурет. Тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпалардан жасалған бөлшектерді өңдеу кезінде ЭХӨ және ПҚЭӨ қолдану: (а) турбина қалақшасы; (б) реактивті қозғалтқыш қалақшалары; (в) дискілік турбина қалталары; (г) бүріккіш. (Меткуттан құрастырылды.)

Операциядан кейін бөлікті инвертирледі, ал басқа Си электрод шүмектің екінші жағындағы радиусты өңдеу үшін пайдаланылды. Тоқ 20 А кезінде басталды және 220 А аяқталды. Электролит және оның айналымы бұрынғыдай болды. Құралдың берілу уақыты 2,5 мм/мин, кесу уақыты 2 минут болды, бұл бұрынғы сияқты бет тазалығын қамтамасыз етеді [1].

8.8-кесте. Тот баспайтын болат пен ыстыққа төзімді қорытпалардан жасалған ЭХӨ және ПҚЭӨ компоненттер үшін жұмыс шарттары 8.8-суретте көрсетілген.

Еңбек шарттары	Бөлшек				
	a		b	c	d
Операция	ЭХӨ	ЭХӨ	ПҚЭӨ	ЭХӨ	ЭХӨ
Компонент материалы	A 286	Уаспалой	Юдимет 700	Инконель 718	АТБИ-316
<i>Электролит</i>					
Тип	NaNO ₃	NaCl	H ₂ SO ₄	NaCl	NaCl
Концентрация (г/л)	260	200	10%	120	120
Кірудегі температура (°C)	42	32	35	38	27
Кіру қысымы (бар)	9-14	9-14	1	15-17	6
Ағын шығыны (л / мин)	8	10	2	10	8
<i>Тоқ (А)</i>					
Бастау	100	100	3	130	20
Соңы	150	150	10	630	310
OCV (V)	11	12	9 _a	18	17
Беріліс жылдамдығы	7,5	8	1,25	1,5	6
Толеранттылық (пм)	+100	+100	+50	+75	Конус 4 °
Рабетінің кедір-бұдырлығы	0,4-0,7	0,2-0,5	1.5-3	0.7-1	0,12-0,25

ПҚЭӨ-ге кезең сайын жүгіну, 7-тарауды қараңыз.

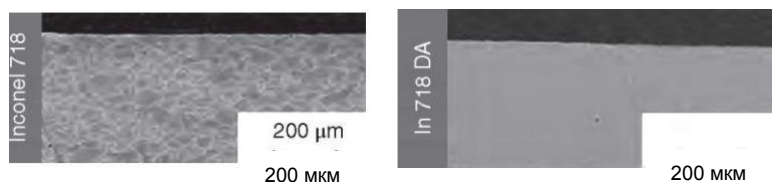
Электролиттердің 50 және одан да төмен деңгейде сүзгілеуі дұрысырақ болады. Сүзгіні тікелей электродтың алдында орналастыру - жақсы тәжірибе. Металл гидроксидінің немесе металл гидратының көлемі айтарлықтай. Тұз электролиттері жағдайында бұл металлды кетіру көлемінің 100-500 есе болуы мүмкін. Ыстыққа төзімді қорытпалар және тот баспайтын болаттар үшін ЭХӨ балшығы көлемінің қатынасы шамамен 200 есеге жуықтайды, бұл Ті негізіндегі қорытпалардан әлдеқайда аз, бұл металлдарды жоюдан шамамен 500 есе асады [1]. Аспаптың жұмысын және электродын бұзатын қысқа тұйықталу салдарын болдырмау үшін осы жоңқаларды (тұнбаны) алып тастау және сүзу ұсынылады. Алайда, жауын-шашынның сүзгілеуі қоршаған ортаға зиян тигізбейтін шараларды талап етеді.

ЭХӨ -да және байланысты процестерде металдар мен қорытпалардың (әсіресе түйіршік өлшемдері) микроқұрылымы әдетте өндірілген беттердің тұтастығына әсер етеді. 8.9-сурет нақты электрохимиялық өңдеуден кейін әртүрлі материалдардың беткі тұтастығын шолуды суреттейді. Инконель 718 және Инконель 718 DA үшін, майда ұсақталған микроқұрылымы бар, оң жақты ЭХӨ параметрлерін қолдана отырып, қима учаскелерінде жазық және тегіс беті табылуы мүмкін.

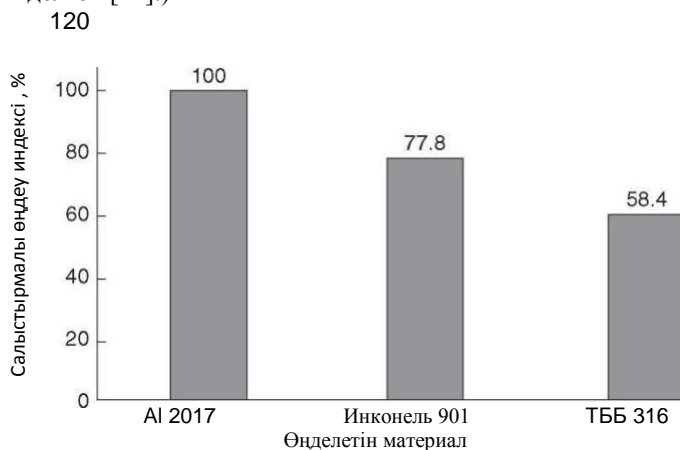
8.10-суретте АТБИ-316 тот баспайтын болаттан жасалған салыстырмалы өңдеу индексі және Al-2017 қорытпасы негізінде 100% өңделген ИЭХӨ бар Инконель 901 ыстыққа төзімді қорытпасы көрсетілген.

Инконель 901 салыстырмалы машиналық индексі 77,8%, ал АТБИ-316 тот баспайтын болаты Инконель 901, 58,4% [15] салыстырғанда төменгі өңдеуге ие.

Заманауи импульстік электрохимиялық өңдеу (ИЭХӨ) бір платформаны өңдеуге, өңдеуге және жылтыратуға мүмкіндік береді [16]. Машина дербес электролитпен басқарылатын ықшам және жабық жүйеден тұрады, әдетте 7-8 осьпен (құралды өңдеуге арналған 3-4 ось және құралды жылжыту үшін 4 ось бар, олардың 2-і тербеліс катодтары) [17].

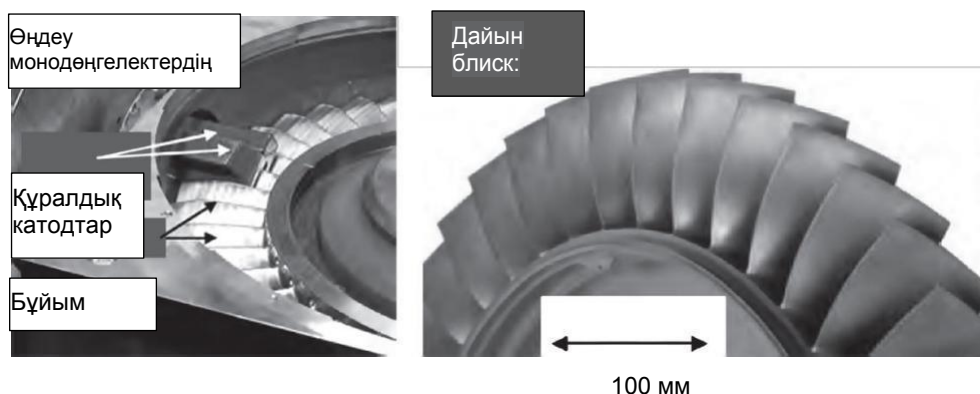


8.9-сурет. ЭХӨ механикалық өңдеуінен соң никель негізіндегі қорытпалар бетінің қол жететін тұтастығы. (Баумгартнерден бейімделген [14].)



8.10-сурет. Al-2017 негізіндегі ИЭХӨ ед 100% -дық өңделімділікпен болғандағы АТБИ-316 тот баспайтын болаты мен Инконель 901 ыстыққа төзімді қорытпасының өңделімділік индексі. Эль - Хофиден бейімделген [15].

Титан негізіндегі қорытпаларды өңдеу үшін әдетте электролит NaCl су ерітіндісі (пассивация құбылыстарын болдырмау), ал никель және титан-алюминий қорытпаларына негізделген ыстыққа төзімді алматтар үшін NaNO_3 қолданылады. Температурасы және рН реттеуі (қышқыл-негіздік дозамен) жабық жүйеде сұйықтық ағынының жылдамдығы 1000 л / мин дейін және қысым 40 барға дейін [18]. Сонымен қатар, хром VI бақыланады және химиялық өңделеді (III хромға дейін төмендейді) [19]. Гидроксидті шөгінділерді фильтрлеу үшін фильтрлі мембраналар мен камера сүзгісі престоуі жиі қолданылады [18]. Ақыр соңында, уәкілетті персонал кәдеге жаратуды және / немесе жоюды басқаруы керек. Сондықтан электролитті өңдеуге және суспензияны қайта өңдеуге / жоюға байланысты шығындарды ескеру қажет.



8.11-сурет. Монодөңгалақ өндірісі (сол жақта) (тұрақты токпен электрохимиялық өңдеу (DCECM), LeistrizTurbomaschinenTechnik LTT [7], және (оң жақта) ЭХӨ [20] көмегімен өңделген Ti6Al4V -тан төменгі қысымның дайын компрессоры (құрастырылған).

8.11-суретте. Қалақ пен пен монодөңгалақтың (dc- ЭХӨ) өндірісіне арналған қондырғылардың орнатылуы көрсетілген. Сол жақта - төрт пышақтың бір мезгілде өңдеуі. Тамақтандыру өнімділігі өнімділікті едәуір арттыра алатын өңдеу аймағына тәуелді емес [21]. Оң жақтағы қорапта электродтармен бірге өңдеу барысында толығымен толып кеткен сұйықтық ағынын білдіреді. ИЭХӨ

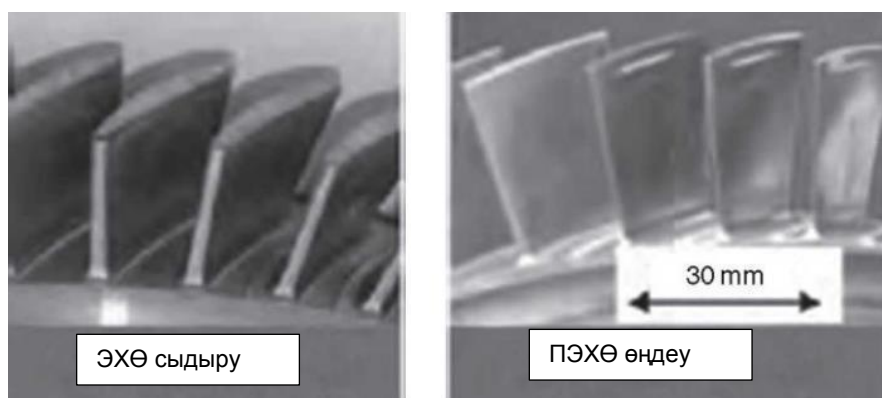
механикалық құралының осцилляторы 100 Гц дейінгі жиілікте 100 мм типтік амплитудасы бар. Механикалық өңдеу кезінде, әдеттегі беру жылдамдығы тек 0,1 мм/мин. Сондықтан ИЭХӨ процесі көбінесе аяқтау үшін пайдаланылады және алдын-ала DC-ЭХӨ сатыларымен үйлескен жағдайда үнемді болады [17,22]. Жоғары МСА және бетінің кедір-бұдырын қамтамасыз етуден басқа, ЭХӨ және ИЭХӨ пішіннің күрделілігіне тәуелсіз, сығымдалмайтын геометрияны шығарады [23].

Процесс конфигурацияланғаннан кейін және барлық электр және сұйық процестердің параметрлері сақталғаннан кейін, тамаша қайталануға қол жеткізуге болады. Блистерді өңдеу кезінде 75 пышақпен, 43 сП мәндері (процестің тарату уақытының рұқсат ету ауқымына сәйкес анықталған), пышақтың орналасуына және қалыңдығына, аккорд ұзындығына және сызық бұрыштарына түрлі геометриялық ерекшеліктерді, сондай-ақ жетекші және артқы шеттердің қалыңдығын сипаттайды. талданды. Барлық құндылықтар 1,3-ден жақсырақ және тек біреуі 1,33 (4а) -дан төмен болды. КП индексінің максималды мәндері шамамен 6.65 болды, бұл жоғары технологиялық тұрақтылықты көрсетеді [17].

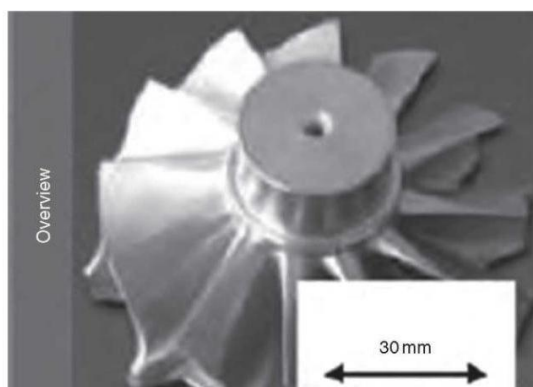
13-18 В жұмыс кернеуі, 12-15 кА ағымдары және 1 мм / мин беру жылдамдығы әр жүздің 5 минуттық өңдеу уақытына әкелді [7]. Кесу технологиясының үздіксіз дамуы Ti-негізделген блендерді өңдеу үшін ЭХӨ -ны пайдаланудан асып түсті, бірақ Ni негізіндегі қорытпаларды өңдеу үшін өте бәсекеге қабілетті. Пленкалардың үздік бетінің қасиеттерін алу үшін ЭХӨ шламын және ИЭХӨ әрлеуді ұштастыру ұсынылады; Бұл тәсіл Инконель 718-тен қызғылт никельге негізделген жоғары қысымды (НР) компрессорды өңдеуге негізделген. Өңдеу реті электролит ретінде NaNO_3 арқылы бұрылмалы шикізат бөлігінен бастап, пышақтар арасындағы негізгі ойықтарды dc-ЭХӨ алдын ала өңдеуді қамтиды. Әрбір жүздің айналасындағы өлшемдер біркелкі емес және шамамен 1-3 мм-ден ерекшеленеді. Мақсатты электродтарды орналастыру үшін екі жүз арасында жеткілікті бос орын қажет. Бұл үрдісті кейіннен өңделмеген ЭХӨ ширату қадамы біркелкі ұлғайтуға дейін жалғастырады. Содан кейін алдыңғы және артқы қырларын дайындаңыз. Соңғы кезеңде соңғы ИЭХӨ өңдеу аэродинамикалық беттердің және айналма кеңістіктің соңғы өңдеуіне арналған тербелгіш электродтармен орындалады [17].

ЭХӨ технологиялары үшін өңдеудің нәтижелері 8.12 суретінің сол және оң бөліктерінде көрсетілген. Жылтыр, гиперполирленген бет алу үшін химиялық субстратпен жылтыратып полировкамен оксид бөлшектерін жою үшін қосымша тегістеу жұмыстары жүргізілді. Соңғы қаттылықтың мәндері $R_a < 0.1 \mu\text{m}$ және $R_z < 1 \mu\text{m}$ болды. Жылтырдың күрделі геометриясынан басқа турбогенераторларға арналған турбиналық дөңгелектер қатты немесе дерлік таза формамен ЭХӨ арқылы табысты өңделуі мүмкін (8.13-сурет) [24].

Турбомашина компоненттерін өндіруге арналған табысты ЭХӨ және ИЭХӨ қосымшаларының үлгілері процестің тиісті шарттарына және қол жетімді өңдеу нәтижелеріне қатысты ақпаратты қамтиды. ЭХӨ авиациялық қозғалтқыштар мен бу және газ турбиналарының стационарлық қосымшалары үшін бір пышақ геометриясын және әр түрлі пішіндерді пышақтарды шығаруға қабілетті.



8.12-сурет. ЭХӨ негізіндегі никель негізінде НР компрессорын өндіру: бастапқы өңдеу және ИЭХӨ:таза өңдеу. (Platz және Feiling бейімделген [17].)



8.13-сурет. Турбоайдағыштар үшін толық турбиналық дөңгелектер сияқты күрделі геометриялардың ЭХӨ өңдеуі (Giese-ден бейімделген [24].)

dc-ЭХӨ өңдеу кезінде типтік материалды алу түрлі титан негізіндегі болаттар үшін (мысалы, Ti6242: 3.9 см³ / мин) және никель негізіндегі (мысалы, Инконель 718: 2.1 см / мин) қорытпалар үшін бірнеше см³ / мин болуы мүмкін [24]. Пішіннің дәлдігі мен бетінің кедір-бұдырының ықтимал мәндері тиісінше 0,1 мм және Ra = 0,8 | рм. Бірыңғай пышақтар өндірісіндегі есептелген жинақ дәстүрлі кесу операцияларымен салыстырғанда 30% құрайды [22]. Бұл, әсіресе, құралдың шығындарын азайту арқылы үздіксіз өндіруге қатысты. Өнімділікті әрі қарай жоғарылату келесі процесті оңтайландыру кезінде мүмкін болады [25]. Болашақ қозғалтқыштарда Ni негізделген TiAl-қорытпалары мен ыстыққа төзімді қорытпаларының жалған немесе құйылған пышақтарын енгізу ЭХӨ-нің маңыздылығын арттырады [26].

Жоғары өнімділік пен жоғары беткейлік тұтастыққа жету үшін жоғары өнімділікпен қатар, болашақта, әсіресе жаңа жетілдірілген станоктардан жасалған станоктар, қорытпаларды өңдеу үшін кеңінен пайдаланылатын болады, бір машина орнатуда біріктірілген ЭХӨ/ ИЭХӨ -ның кең мүмкіншіліктерін кеңінен қолданылатын болады деп күтілуде.

8.2.2 Тот баспайтын болаттардан және ыстыққа төзімді қорытпалардан жасалған профильді құбырларды электролиттік өңдеу (ПҚЭӨ)

Процесс қышқыл электролиттерді қолданғандықтан, оны пайдалану тот баспайтын болаттан немесе басқа агрегаттардан және газ турбиналық бөліктеріндегі басқа коррозияға төзімді материалдардан бұрғылау тесіктерімен шектеледі, мысалы:

- турбиналық пышақтың суыту тесіктері;
- отын бүріккіштері;
- ЭЭӨ -ны өзгертуге келмейтін кез келген тесіктер;
- ЭЭӨ сымының тесіктері;
- төмен өңдеу мүмкіндігі бар коррозияға төзімді металдар үшін бұрғылау тесіктері;
- ЭЭӨ сызаттар тудыратын мойынтіректердегі мұнай арналарын бұрғылау.

Таяқшалар баспайтын болат және ыстыққа төзімді қорытпалар сияқты ауыр машина материалдарындағы дөңгелек және пішінді тесіктерді бұрғылау үшін пайдаланылады. Диаметрі 0,5-тен 6 мм-ге дейін және тереңдігі 600 мм дейін тесіктер диаметрі 300-ге дейін арақатынасымен жасалуы мүмкін. Машинаның 100-ден астам тесік / қозғалысы іс жүзінде жүзеге асырылады.

Мынадай тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді алюминаттардағы саңылаулар 10% H₂SO₄-қышқылдық электролит концентрациясы бар өзекшемен бұрғыланды.

Тот баспайтын болат:

Ыстыққа төзімді қорытпалар

АТБИ-304, АТБИ-321, АТБИ-414
Юдимет 500, 700, 710
Стеллит
IN-100, -102, -738
Инконель 625, 718, X-750, 825
Рене 41, 80, 95, 100
Хейнс 25, 181
NS - 31(X-40)
Хастеллой С, XGreekАсколой

8.9-кестеде салыстыру үшін АТБИ-304 ПҚЭӨ баспайтын болаттан және Udimet 700, Инконель 718, Rene 95 және Heins 25, сондай-ақ Тi Тi-8Al-1Mo-1V негізіндегі қорытпаның жұмыс параметрлері көрсетілген. Тi - 5% салыстырмалы түрде төмен концентрациясы бар қышқылдық электролит HCl.

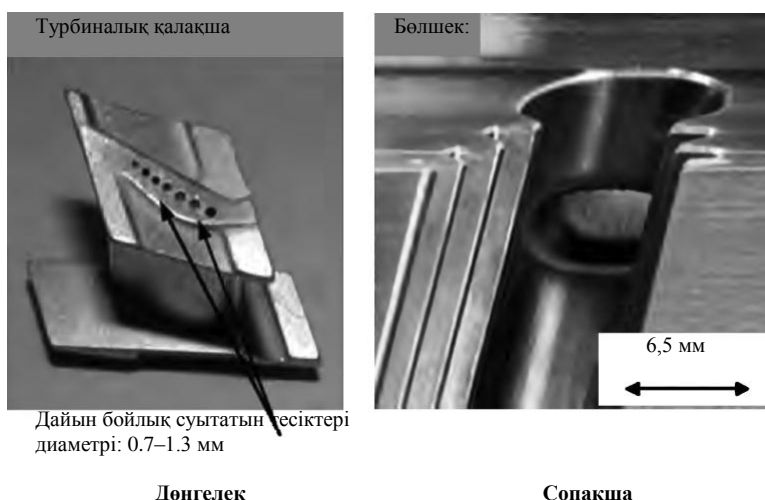
Негізі негізінен суыту тесіктерін өндіру үшін турбоагрегатты компоненттерді өндіруде қолданылады. Бұл екі жүзі / дискілері мен дискілері үшін тесіктерді қамтиды. ЭХӨ пайдаланудың негізгі артықшылықтары кернеулер мен сызаттарсыз тегіс беттердің өндірісі болып табылады. Сонымен қатар контурлы бұрғылаудың төменгі бұрыштары оңай іске асады [27].

8.14-сурет никель НР турбиналық дискілерге негізделген қисық сызық эллипстіксуыту тесіктерінің бағанасын көрсетеді. Эллипстің ұзын осі ұзындығы 6,5 мм, диаметрі 500 мм жүктеме кезінде күшті бөлу үшін қажет және қалыпты кесу арқылы өңделмейді. Сондай-ақ кіру және шығу контуры бір мезгілде пайда болды. 74 суыту тесіктерін өндеудің жалпы уақыты 20 сағатты құрайды [7].

8.9-кесте. Тi-8Al-1Mo-1V-мен салыстырғандағы тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпалардың арнайы ПҚЭӨ жұмыс параметрлері

Эксплуатациялық параметрлер	Өңделетін материал					
	АТБИ-304	Юдимет 700	Инконель 718	Рене 95	Хейнс 25	
Электролит (қышқыл)	H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄	HCl
Процент	10	10	9,5	10	10	4-5
Көлем бойынша концентрация пайызы	34	40	40	40	40	40-50
Қысым (бар)	0,7	3	1,8	1,6	0,7	3,5
Vdc кернеуі	10	6	7,5	6,5	6	13,5
Үдету (s)	8	7	10	10	3	10
Кері (с)	0,3	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3
МСА (см ³ / мин)	1	0,8	0,8	0,8	0,6	1,1
Тесік диаметрі (мм)	0,5	1,2	1,2	3	0,6	1,5
Ампер/тесік (А)	1	1	2 (макс.)	7,5	0,5	4,3
Тесік / жүріс	1	16	6	1	30	3
Тесік тереңдігі (мм)	15	22	10	25	1	20
(Тереңдік/диаметр) дейін	300	180	80	20	1-2	130
Толеранттылық (пм)	±5	±6	—	±5	—	±2,5
Rakedір-бұдырлығы(рт)	—	—	—	2-3	—	3-4

Меткуттен берілген.



8.14-сурет. ПҚЭӨ көмегімен жоғары қысымды никель турбиналық дисктеріндегі домалақ және иілген эллипстік суыту тесіктерін өңдеу. (Электрохимиялық өңдеуден құрастырылған [28] және Электрохемишес Абстраген [29].)

8.2.3 Тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды механикалық өңдеудің электроагыны

Электрлік ағынның (ЭА) негізгі пайдаланылуы әдетте никель мен кобальт негізіндегі ыстыққа төзімді құтқындардан жасалған газ турбиналық компоненттеріндегі суыту тесіктерін бұрғылау болып табылады. Бір мысал - ультра жеңіл газ турбиналық қозғалтқыштың жүзінің алдыңғы шетінде бірнеше тесіктерді бұрғылау.

ПҚЭӨ-дегідей, H_2SO_4 -қышқылдық электролит негізінен баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды бұрғылау үшін қолданылады. Келесі тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпалардағы тесіктер бұрғыланды.

Тот баспайтын болат: АТБИ-304, АТБИ-316, АТБИ-321

Ыстыққа төзімді қорытпалар: Юдимет 700

Рене 41, 77, 80, 100, 120, 125

в-102, -738

Инконель 625, 718, X-750, 825

Хейнс 25, 181 HS-31 (X-40)

Хастеллоу С, Х

8.2.4 Тот баспайтын болат пен ыстыққа төзімді қорытпаларды электрохимиялық тегістеу (ЭХТ)

Электрохимиялық тегістеу кезінде (ЭХТ) дөңгелектерде оқшаулағыш ілгіштер болуы керек (SiC және олардың кейбіреулері борозонды пайдаланбайды, өйткені олар электр өткізгіш болып табылады). Сондықтан 8.10 кестеде көрсетілген дөңгелектер корунд болып табылады. Сондай-ақ, NaCl электролиттері ЭХТ -да сирек қолданылады, себебі олар машина бөлшектері үшін жоғары коррозиялық болып табылады.

8.10-кестеде АТБИ-304, 316, 321 және 414 сияқты ЭХТ ыстыққа төзімді қорытпалар және тот баспайтын болаттар үшін ұсынылатын параметрлер ұсынылған. Сондай-ақ ТББА-286 Пайрометі де (Fe негізіндегі ыстыққа төзімді қорытпа) қарастырылған. Төмен өткізгіштігі бар материалдардың қызып кетуіне жол бермеу үшін максималды ток тығыздығы жеткілікті төмен болуы керек. Салыстыру үшін сол параметрлер Cu-қорытпалары, Al-қорытпалар және көміртекті болаттар үшін берілген. Кестеде соңғы қорытпалар үшін жоғары тоттану тығыздығына жол берілмейді. Көптеген ЭХТ бағдарламалары үшін корундты тегістеу дөңгелектері мен $NaNO_3$ электролиттері ұсынылады.

8.2.5 Химиялық фрезерлеу

Жоғарыда аталып өткендей, химиялық (ХФ) фрезерлеудің кемшіліктері төмен кесу жылдамдығын және маскированные учаскелерді коррозиялық ерітінділермен (ЕФ сырғау коэффициенті) кесетін болады. Тот баспайтын болаттан жасалған коррозиялық әсер аз болмайды; Алайда, сутегі зақымдануы мартенситтік тот баспайтын қорытпалармен қиындық тудыруы мүмкін және осы түрдің химиялық құрамына байланысты кристалит аралық коррозия пайда болуы мүмкін.

8.11-кестеде аустенит және мартенситикалық баспайтын қорытпалардың ХФ-нің негізгі параметрлері көрсетілген. Мартенситтік қорытпалардың абразивті жылдамдығы аустендік қорытпалардан айтарлықтай төмен. 8.12-кестеде кейбір таңдалған ыстыққа төзімді құтқаларын ХФ-ге арналған бірдей параметрлері көрсетіледі.

8.10-кесте. Ыстыққа төзімді қорытпалар мен тот баспайтын болаттардың ЭХТ ұсынылатын параметрлері

Өңделетін материал	GW абразивтері	Электролит / концентрация г/лH ₂ O	Максималды ток тығыздық (А/см ²)
<i>Ыстыққа төзімді қорытпа</i>			
А-286 (Пайромет)	NaNO ₃	120-140	116
Хастеллоу Х	NaNO ₃	120-140	116
М 252	NaNO ₃	120-140	116
Юдимет 500,700	NaNO ₃ немесе NaCl	110-120	116
Уаспалой	NaNO ₃	120-140	116
Инконелдер	NaNO ₃	120-140	116
Рене 41	NaNO ₃	180-230	78
Рене 80	NaNO ₃	120-140	78
HS-31 (Х-40)	NaNO ₃ + NaCl	60-80	78
Стеллит	NaNO ₃	210-240	78
<i>Тот баспайтын болат</i>	NaNO ₃	180-200	78
<i>Басқа қорытпалар</i>			
Си-қорытпалар	NaNO ₃ немесе KNO ₃	180-200	233
Al-қорытпалар	NaNO ₃	120-140	233
<i>Болаттар</i>			
Төменкөмірсутекті	KNO ₃ :KNO ₂ (9 : 1)	60-120	155
Жоғарыкөмірсутекті	NaNO ₃	120-180	155

Ескерту: SiC және БКН (кубтық нитрид боры) ЭХТ үшін қолданылмайды, себебі электрөткізгіш емес. Деректерді өңдеудің өңдеуші орталығынан бейімделген [1].

8.11-кесте. Аустениттік және мартенситтік СС-тардың ХМ параметрлері. (Деректерді өңдеу орталығы [1])

Тот болат баспайтын	Желіндіру пайызы	Температура (°C)	Желіндіру жылдамдығы (мкм/мин)	Маскантиру	Желінді факторы	толеранттылығының тереңдігі (пм) (±пм)	Ра	
Аустенитный	FeCl ₃	42°Be*	54	20-130	Поливинилді хлорид	1.5-2.0	100	1.6
Мартенситный	немесе HCl:HNO ₃ FeCl ₃	52°Be*	54	6	Поливинилді хлорид	-	100	3.2

Be*: Баум үлестік салмағының масштабы. ХӨ, химиялық өңдеу

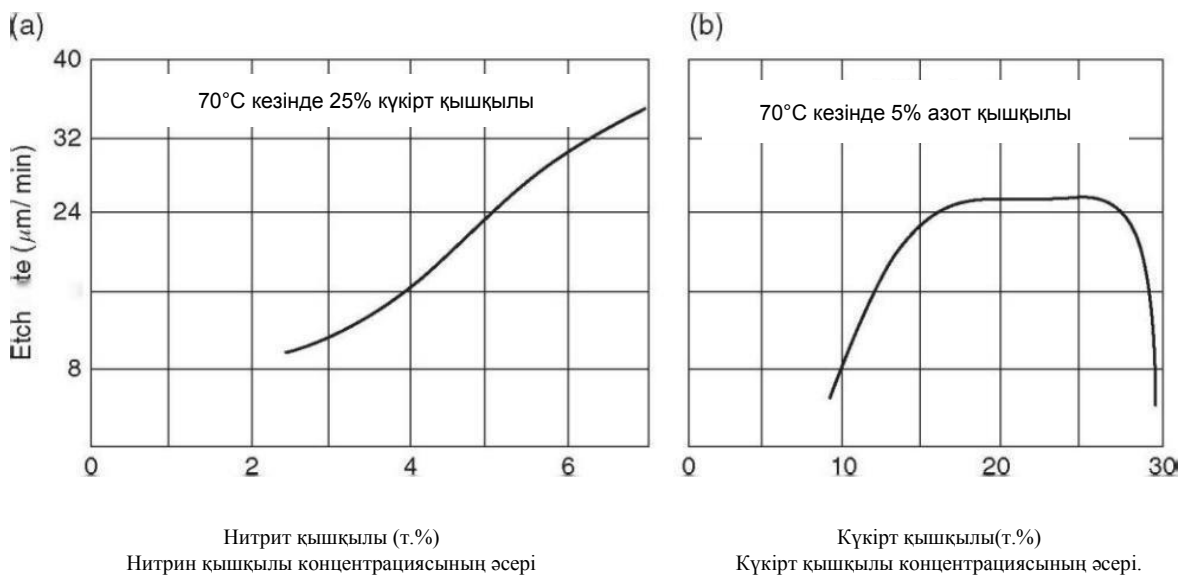
8.2.5.1 МЖЖ және тереңдікке төзімділік

МЖЖ жұмыс материалының нақты металлургиялық жағдайымен үйлесімді болуы үшін таңдалатын таңғыш заттың, температураның және концентрацияның түрі бойынша анықталады. Тереңдігі шаңғы уақытпен бақыланады. – сурет. 8.15 азот және күкірт қышқылдарының шоғырлануының 70 ° С температурада әсер етуін көрсетеді.

Fe және Ni негізіндегі ыстыққа төзімді қалыпты алюминийді өңдеу кезінде ерітіндінің уақытын, температурасын және концентрациясын бақылау үшін ең қолайлы жағдайлар кезінде ± 25 сағаттық дәлдікке қол жеткізуге болады.

8.12- кесте ХӨ ыстыққа төзімді қорытпаларының параметрі

Ыстыққа төзімді қорытпа	Желіндіру	Концентрация	Желіндіру температурасы (°C)	Желіндіру жылдамдығы (рм/мин)	Маскантиру	Желіндіру факторы (-)	толеранттылығының тереңдігі (пм) (±пм)	Ра
Со-базалық қорытпа	HCl:HNO ₃ : FeCl ₃	-	60	10-38			1-3.8	
Инконель	FeCl ₃ немесе HCl:HNO ₃	42°Be*	54	13-38	Полиэтилен	—	—	1-3.8
Нимоник	FeCl ₃ немесе FeCl ₃ :HNO ₃ : HCl	42°Be*	49	13-38	Полиэтилен	1-3	5 1	1-3.8
			49	13-38	Полиэтилен	1-3	5 1	1-3.8

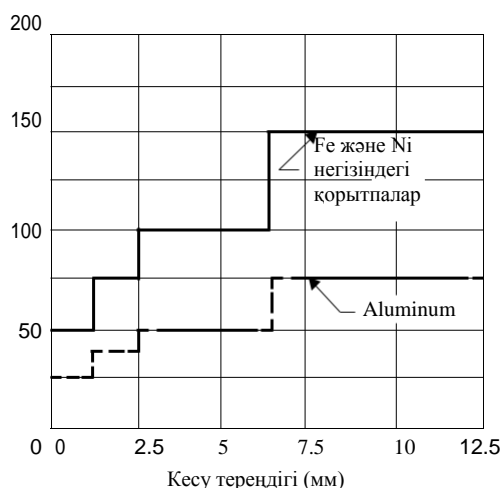


8.15-сурет. СН-фрезерліктегі желіндіру жылдамдығына қышқыл концентрациясының ықпалы: а) азот қышқылы концентрациясының ықпалы.; б)күкірт қышқылы концентрациясының ықпалы.. (Metcut.-тен құрастырылған.)

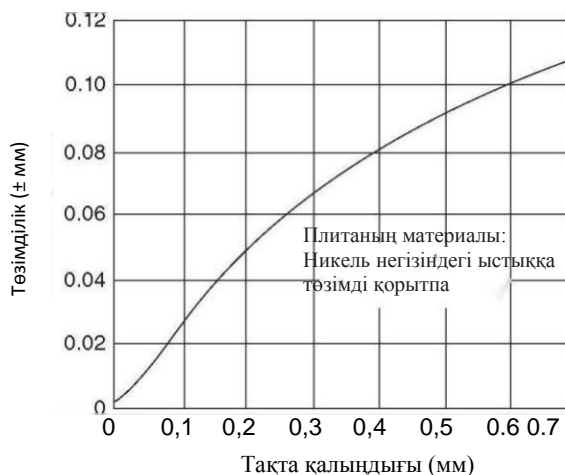
Кіріс шығыстарын ± 75 сағатқа дейін тереңдете түседі (8.16-сурет, 8.17-сурет). Кесудің ең төменгі ені екі есе тереңдікте және EF [1] болуы керек.

8.2.5.2 Беттің сапасы

Хим-фрезерлеудің жұмсақ химиялық әсері, әр материалдың материалын алып тастайтындықтан, дайындау бөлігіне кернеу енгізбейді, нәтижесінде беттерде қалдық кернеулер болмайды. Беткі қабаттың кедір-бұдыры дайындаманың бастапқы күйіне әсер етеді. Тым көп толқулар біркелкі емес кесу немесе ойықтардың пайда болуына әкелуі мүмкін. 8.11 және 8.12-кестелерде ХФ-ден алынған тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді алюминдердің бетінің кедір-бұдыры көрсетілген.



8.16-сурет. Ыстыққа төзімді қорытпалар мен алюминийді фрезерлік өндеудегі әртүрлі тереңдік үшін жеткізілген рұқсаттар - салыстыру. (Metcut-тен бейімделген.)



8.17-сурет. Ni негізіндегі ыстыққа төзімді қорытпалардан жасалған жұмсақ тілімшелер үшін өлшемдері бойынша жеткізілген фрезерлік өндеу тәсілімен өңделген рұқсаттар (Metcut-тен бейімделген.)

8.2.6 Фотохимиялық өңдеу (Шашыратып өңдеу)

Ең жиі қолданылатын өнеркәсіптік металдар мен қорытпалар фотохимиялық процесті (ФХП) пайдаланып салынады. Тот баспайтын болат және ыстыққа төзімді қорытпалар сияқты экзотикалық қорытпалар ФХП болуы мүмкін, бірақ олар аса күрделі химия мен оператор білімдерін талап етеді. Металды немесе легіріленген материалдардың ластану қабілеті негізінен

оның химиялық құрамына байланысты. 8.13-кестеде ФХП арқылы өңделетін кейбір тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді алюминийлердің қаттылығын бағалау көрсетіледі. Мыс, жез, алюминий және магний жақсы рейтингі бар. Баспайтын болат және ыстыққа төзімді қорытпалар, мысалы Инконела және Хастеллоу В, жақсы және әділ бағаланады. Юдимет қорытпалары Хастеллоу С және Рене 41 W, Ti, Nb және Та бірге нашар шашыратып улау рейтингіне ие.

8.13-кесте. ФХӨ-мен өңделген кейбір іріктелген ыстыққа төзімді қорытпалардың және тот баспайтын болаттардың улағыштығын бағалау

Улағыштықты бағалау	Ыстыққа төзімді қорытпалар және тот баспайтын болаттардың маркалары (азаю тәртібінде улау)
Жақсы	Мыс, жез, алюминий, магний АТБИ 215,
Жақсы әділ	301, 302, 304, 305, 316, 321, 347РН 15-7, РН 17-7АТБИ 410, 420, 430
Күдікті	Инконель қорытпалары (мысалы, Ni, 15% Cr, 7% Fe)
Нашар	Хастеллой В (Ni, 28% Mo, 5% Fe, 2,5% Co, 1% Cr, 0,5% V, 0,05% C)
Деректерді өңдеу орталығынан алынды [1].	Юдимет (мысалы, Ni, 42% Fe, 12,5% Cr, 2,7% Ti)

8.14-кесте. Кейбір іріктелген ыстыққа төзімді қорытпалар мен тот баспайтын болаттардан дайындалған ФХӨ

пластиналарына арналған улағыштар

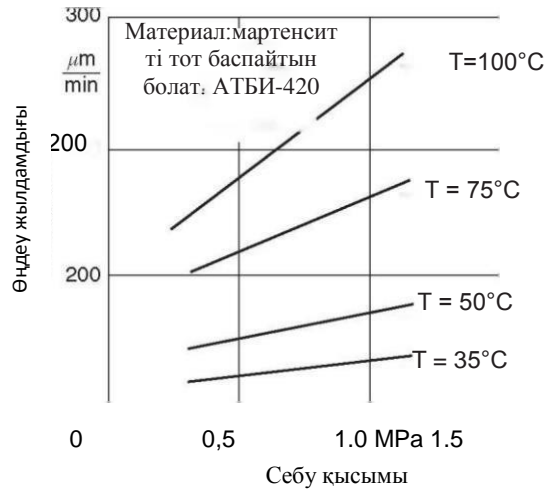
Улау анықтамасы	Температура (°C)
<i>Ыстыққа төзімді қорытпалар</i>	
Нуми 80, 800 (80% Ni, 4% Mo, Fe)	42 Be, FeCl ₃ : HCl (9: 1) 43-49
Инконель (Ni, Cr, Fe)	42 Be, FeCl ₃ 54
Нимоник (около 80% Ni, 20% Cr)	42 Be, FeCl ₃ :HNO ₃ : HCl 49
<i>Тот баспайтын болат</i>	
Мо-еркін тот баспайтын болат	35-48 Be, FeCl ₃ 35-55
МО-тот баспайтын болат	36-42 Be, FeCl ₃ 35-55
	HNO ₃ қосылған

Меткут-тан алынды.

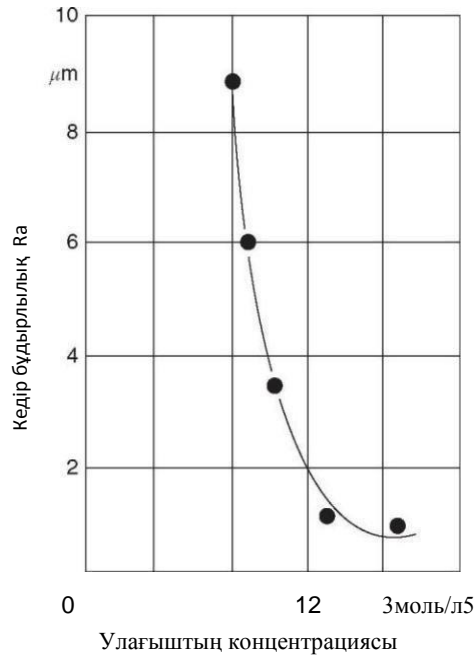
Тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды ФХӨ-ге арналған улағыштар 8.14-кестеде олардың пайдалану сипаттамаларымен бірге келтірілген. Темір хлоридінің ерітінділері (FeCl₃) металдар мен қорытпаларды ФХӨ үшін қолданылады, сондықтан ол ФХӨ өнеркәсібінде ең кең қолданылатын улағыш болды. Улағыштар әдетте қаупі аз улағыштармен, әсіресе темір хлоридімен, араластырылған минералды қышқылдар сияқты жиі түрлендірілген қоспалармен және натрий гидроксиді немесе аммоний тұздары сияқты кейбір сілтілі улағыштармен шектеледі. Натрий гидроксиді Al-мен және Al-қорытпалармен кең қолданылады. Улағыштардың құрамы нақты қолдану талаптарына сәйкес түзетілуі мүмкін, ал патенттелген қоспалар көпіршу немесе дымқылдану сипаттамаларын бақылау, улау жылдамдығын көбейту немесе азайту немесе улауға барынша біркелкі сипат беру үшін қосылуы мүмкін.

Улауға арналған машиналар темір хлоридінен және басқа улағыштардан жемірілуге кедергі келтіруі мүмкін материалдардан (поливинилхлорид және титан сияқты) дайындалған. Машина жасауда қолданылатын пластмассалардың бұрмалануын болдырмау үшін улағыш температурасы 55°C-тан төмен болып тұруы тиіс.

Виссер және басқалар [30] себу ағыны қысымының улау жылдамдығына әсерін және улағыш концентрациясының беттің кедір-бұдырлығына әсерін зерттеді. 8.18-суретте ағын қысымының және себілетін улағыш (концентрациясы 3,8 моль/л қышқыл ерітінді) температурасының АТБИ-420 мартенситті тот баспайтын болатты өңдеу кезіндегі улау жылдамдығына әсері көрсетілген, ал 8.19-суретте улағыш концентрациясының АТБИ-304 аустенитті қорытпа бетінің кедір-бұдырлығына әсері көрсетілген.



8.18-сурет. Себумен улау кезіндегі ағын қысымы мен температурасының АТБИ-420 мартенситті тот баспайтын болаттың улау жылдамдығына әсері. (ViТББег және басқадан [30], рұқсатпен.)



8.19-сурет. Себумен улау кезінде улағыш концентрациясының АТБИ-304 аустенитті тот баспайтын болаттың бетіне әсері. (ViТББег және басқадан [30], рұқсатпен.)

8.3 Термоэлектрлік өңдеу тәсілі

8.3.1 Электррозиялық өңдеу (ЭЭӨ)

Авиациялық реактивті қозғалтқыштарға арналған турбомашиналардың немесе электр энергиясының өндірісінде қолданылатын өнеркәсіптік жерүсті газ турбиналарының өндірісінде ЭЭӨ-ні қолдану соңғы 40 жылда айтарлықтай өзгерген жоқ. Алайда тіпті бүгін де, генераторлар технологиясында болған оқиғаларға қарамастан, ЭЭӨ процесінің термиялық табиғаты және дайындамада қажу ресурстары мен пайдалану сипаттамаларына байланысты салдарымен болған зақымы ЭЭӨ кеңеюін тоқтатады.

Бұдан бөлек, ұңғымаларды (бастапқыда тесіктерінің дәлдігі мен сапасындағы кемшіліктеріне байланысты жартылай ауытқыған) бұрғылауға арналған лазерлік жүйелерді әзірлеу және енгізуі ЭЭӨ-нің қолданылуын шектеді. Бұған қарамастан, ЭЭӨ лазерлік жүйелермен салыстырғанда, тереңдікті бітеуді/бақылауды анықтаудың жақсы реттелуін және әр жақтың жоғары қол жеткізілген қатынастарын қамтамасыз етеді [31].

Дәстүрлі процестердің орнына ЭЭӨ-ні таңдау себебі өнімділіктің бұйым қаттылығымен немесе беріктігімен шектелмеуінде және күрделі сипаттамаларында немесе тесіктер мен қуыстарды сығудың жоғары коэффициентінде және оларды механикалық өндеуге ұшыратуға болады. Сондықтан арнайы ЭЭӨ-мен өңделген турбомашиналарға арналған материалдар Инконель 738, Инконель 939, CMSX4, MAR-M002, MAR-M247, Udimet 720, Nimonic 105, Nimonic 713 және т.б. қорытпалардан тұрады. Негізгі қолдану салаларына суытатын тесіктерді бұрғылау және қалыптарды, жіктерді, қалталарды және шырашықтарды түсіру, сондай-ақ қазіргі таңда шектелген сым кесу операциялары жатады [10].

Бұрын СН7-де көрсетілгендей, шын мәнінде ЭЭӨ генераторы технологиясының дамуын анықтаған екі негізгі конфигурациялар босандататын және транзисторлық импульстік генераторлар болып табылады. Босандататын генераторлар алғаш рет Лазаренкомен енгізілді және жоғары және өте төмен импульс энергияларын өндіру қарапайымдылығы мен қабілетінің және разрядтау ұзақтығының арқасында танымал болып қалды, бұл артықшылықтары оларды бастапқы және таза өндеу үшін, сондай-ақ дәл өндеу үшін жарамды етеді. Және керісінше, транзисторлық жүйелер шындық ток тұрғысынан импульстің бағдарламаланатын формасы және жоғары иілгіштік, импульс ені және тұтандыру тогының иілу параметрлері артықшылықтарына ие, бұл материалдың жойылу жылдамдығының көбеюі, термиялық әсер ету аймағы қабаты қалыңдығының/тереңдігінің азаю және дайындама бетінің сапасын жақсарту жағына ие едәуір артықшылықтар береді [32].

Тарихи транзисторлық генераторлар жоғары жиілікті импульстер алу үшін және босандату разрядының энергиясын тәуелсіз басқару үшін басқарылатын импульстердің генераторы бағытында босандату типі жүйелерінің дамуы нәтижесінде пайда болды. Сымды электррозиялық өндеуге қарағанда электррозиялық білдектер үшін разрядтау жылдамдығы көбірек, бұл электродтардың тозуының төмендеуіне ықпал етуі мүмкін, бірақ дәл сол принцип жоғары жиілікте қуаттандыру көзінен ток беру арқылы токтың берілген деңгейін ұстап тұру үшін қолданылуы мүмкін. Әрлеу үшін әдетте босандату генераторлары қолданылады, себебі мақсат шындық токты да, ұшқындарды өндеу ұзақтығын да барынша азайту болып табылады. Энергиясы төмен мұндай жоғары жиілікті разрядтар импульстер энергиясы саңылау сыйымдылығымен анықталатын транзисторларда ғана қолданылатын, импульстері бақыланатын сұлбалармен құрылуы мүмкін [10].

Заманауи транзисторлық генераторларда ұзақтығы микросекундтар диапазонындағы 1000 А-ге дейінгі шындық токтарды тудыруға арналған қуатты транзисторлар мен аса жылдам қалпына келтіретін диодтар қолданылады. Мұндай өнімділікке қол жеткізу үшін заманауи білдектердің өндеу сызығы мен аймағының индуктивтілігі өте төмен 0,5 нГн болады, бұл ток көлбеулерін 600 А/қс-қа көбейтуге мүмкіндік береді. Транзисторлардың негізіндегі сұлбалар бастапқы өндеу кезінде импульстер энергиясын көбейтуге арналған трапеция тәрізді импульстерді құру үшін де арналған. Дегенмен, ұзақтығы тым қысқа үшбұрышты импульстерді әуеғарыштық компоненттерді ЭЭӨ-де қолдану тиімді, себебі олар дайындамаға берілетін жылуды барынша азайтады және тұтастығы жоғары, жарықшақтары жоқ және таза өндеу операцияларынан кейін созушы кернеуі азайтылған бетті түзеді. Аралық кедір-бұдырлықты (0,15 пен 0,8 мм Ra арасында) қамтитын қолданыстар үшін ұқсас нәтижелер тізбектің индуктивтілігін барынша азайтуға арналған сыйымдылық ретінде және құрал ретінде өндеу аймағына сызықты пайдалана отырып конденсаторлар негізінде заманауи генераторлармен қол жеткізілуі мүмкін, осылайша шындық токтың импульс еніне өте жоғары қатынастарына жетеді [33]. Жылтыратып өндеу және микроөндеу операциялары үшін шындық токтың 1А-ге жуық мәндерімен 10 МГц шамасындағы жиілікте 30 нс импульс еніне жету үшін жылдамдығы өте жоғары және қалпына келтіретін диодтар қолданылады.

Мұндай жағдайларда беттің 0,03 ПМ Ра дейінгі кедір-бұдырлығына вольфрам карбидтерінде және ақ бет қалыңдығы нөл дерлік болатта 0,08 ПМ Ра қол жеткізуге болады [34].

Заманауи генераторлардың басқа басты ерекшеліктері баламалы тұтандыру кернеулерін енгізу арқылы жемірілу мәселелерін шешу қабілетіне байланысты, сондықтан жұмыс кезінде орташа мән нөлге тең (8.20-сурет). Қазіргі таңда мұндай электролизге қарсы конфигурациялар турбомашиналардың арнайы қорытпаларын өңдеуге арналған.

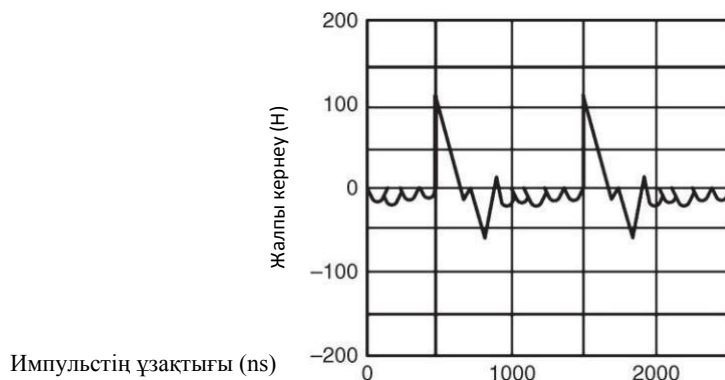
Мысалы, бір машинада ЭЭӨ бұрғылау және лазерлік абляциялау мүмкіндігін беретін коммерциялық дуплексті / комбинацияланған жүйелер қазір бар және турбина қалақтарын және НР қалақтарын өңдеу сияқты қолданыстарға арналған, мұнда лазерлік абляция ЭЭӨ-ге дейін (электр разряды) термокедергіден кез келген жабынды алып тастау үшін қолданылуы мүмкін – бұрғылаушы негізгі материал [35].

ЭЭӨ басқа коммерциялық бұрғылау жүйелерінде бөлек түтікті электродтың ұстағышпен және бір түйінде жайғастыруға арналған бағыттаушымен комбинациясы өте жақсы шайылуды және қоқыстың алынып тасталуын қамтамасыз ете отырып электродтың 1000 айн/мин-ға дейін айналуын қамтамасыз етеді [36].

Электродты материалдарға диэлектрлік сұйықтығы бар мыс және графит (<10 мкм), қазіргі таңда негізінде көмірсутекті май (синтетикалық немесе минералды) жатады, дегенмен осыған байланысты экологиялық мәселелер алаңдаушылық тудырады.

Басты нәтиже ретінде әдеттегі кесу операцияларына қарағанда Ni негізіндегі қорытпалар Ti негізіндегі қорытпалармен салыстырғанда батпалы электррозиялық өңдеу кезінде материалды жою жылдамдығының жоғары максимумына ие деп тұжырым жасауға болады.

ЭЭӨ гибридік процестерімен қатар материалды жою жылдамдығының жақсаруы турыла хабарланды, соның ішінде ең елеулісі энергияның тығыздығы жоғары болу себебінен үздіксіз ұшқынды немесе бақыланатын ұшқындар мен разрядтардың комбинациясын қолдану болып табылады, ол бір ұшқынды разрядтармен болуы мүмкін. ЭЭӨ-ге қарағанда дайындаманың дәлдігі мен кедір-бұдырлығын бақылау қиын, ал өңделген беттер үлкен термиялық деградацияға ұшырайды, оған қайта тұндырылған материал, шытынау және қалпына келген қабат (әдетте 50-100 мкм, бірақ доға энергиясына және электролитке/сұйықтыққа қарай көп болуы мүмкін) кіруі мүмкін, кейін дайындаманың микроқұрылымы және микроаттылығы өзгеруі мүмкін.



8.20-сурет. Кернеудің жалпы жоғары жиілікті антимизициді субмикросекундтық импульстік профилінің принципі (GF Machine Solutions-пен ұсынылды)

1960-шы жылдары Кеңес Одағында және АҚШ-та, содан кейін Жапонияда ірі ұсталық дайындамаларды, құймаларды, экструзиялық бұйымдарды, шыбықты материалды және т.б. тез кесуге арналған доғалық өңдеуді қолданатын коммерциялық машиналар пайда болды. Соның ішінде тот баспайтын болаттарды, никель және титан қорытпаларын. ЭЭӨ дамуына және өсуіне қарағанда олар кең таралмаған, 1980-ші және 1990-шы жылдардың аяғында негізгі фокус атомдық реактор қысымында тұрған ыдыстарды қолданыстан шығаруда болды, мұнда жылулық эрозия процесінің нәтижесінде болатын дайындаманың кез келген зақымдануы (әдетте, қабат материалының қайта жасалуы және шытынау) және салыстырмалы дәлсіздік аз мазалады [10].

Тот баспайтын болаттарды ЭЭӨ-мен өңдеу кезінде Си-электродтар әдетте кері полярлықпен қолданылады, ал керосин диэлектрлік сұйықтық ретінде қолданылады. Импульстік генераторларды қолданған жағдайда ұсынылатын шындық токтар 2-12 А, импульс ұзақтығы 50-200 мс диапазонында және толтыру коэффициенті 0,5-те тұрады.

Рахман және басқалар [38] өз зерттеулерінде 304 МСА тот баспайтын болаттан ЭЭӨ кезінде құралдың тозуы және беттің кедір-бұдырлығы импульстік қосу уақытының және шындық токтың көбеюімен артады. Ұзақ импульстік уақытта төмен шындық ток қамтамасыз етілген кезде ең дәл беттік әрлеуге қол жеткізілуі мүмкін. Тот баспайтын болатты өңдеу кезінде электродтың ең аз тозуына импульстің ұзақтығы көп болған кезде қол жеткізіледі. Деректер көрсеткендей, ЭЭӨ-мен өңделген 304 және 410 типті тот баспайтын қорытпалардың қажу ұзақтығы дәстүрлі өңделген тот баспайтын болаттармен салыстырғанда айтарлықтай төмендеуі мүмкін [39].

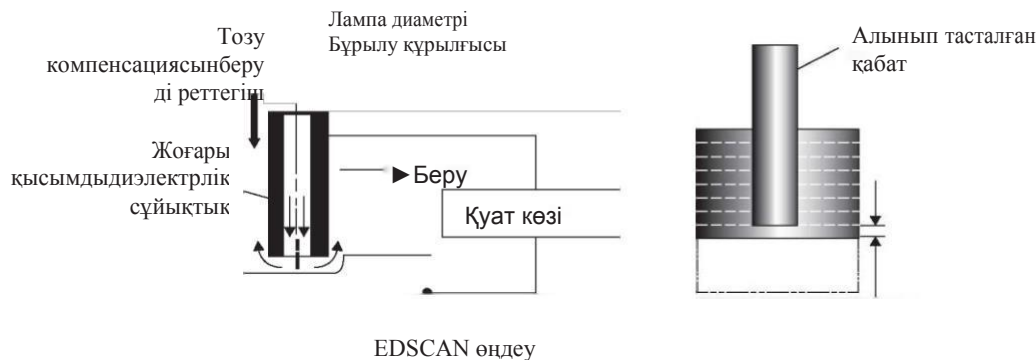
Басты фактор ретіндегі өнімділікпен турбомашиналардың компоненттерін өндіру үшін стандарты жүйелерді бейімдеуге және оңтайландыруға қосымша, ЭЭӨ арнайы жабдығын әзірлеуге өту жалғасын табуы мүмкін. Қазіргі таңда тәжірибеде қарапайым электродтарды пайдалана алатын ED-жону сияқты жұмыс режимдері қолданылады [4].

8.3.2 ТБ мен СҚ-ны фрезерлеудің электр разряды

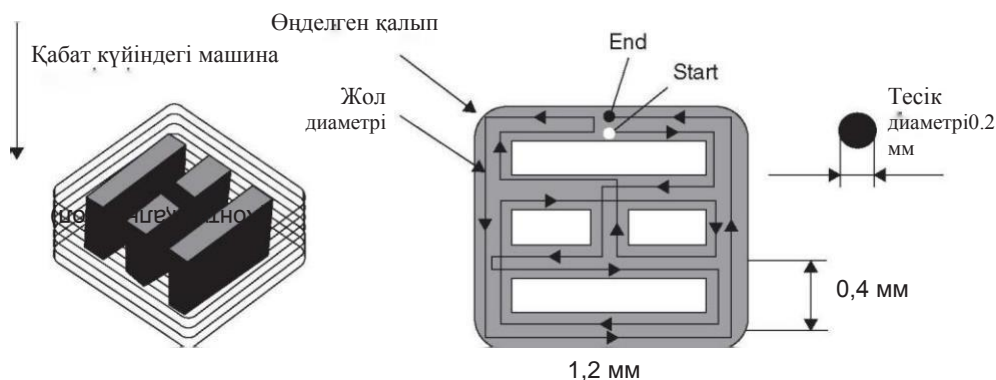
Алдыңғы бөлімде қарастырылған электр разрядын батыру арнайы пішіндегі электродтарды дайындау үшін алдын ала фазаны қажет етеді. Бұл электродтар өте қымбат, себебі оларды жобалау және дайындау қиын, сондықтан олар бұйымды өндеудің жалпы құнынан 50%-дан көп қосады. Жуырда ЭЭӨ саласында революциялық өрлеуге ЭРЖ жаңа технологиясының арқасында қол жеткізілді, онда қарапайым әрі арзан стандарттық айналмалы түтікті электродтар қолданылады. Бұл процесте үшөлшемді қуыстар электродты қалаған тереңдікке дейін кезекті жылжыту арқылы өңделеді, ал СББ өнімінің үш ось бойынша дәлдігін қамтамасыз ету үшін қуатты алгоритмдер арқылы электродтың алдынан тозуын автоматты түрде компенсациялайды. Сондықтан БЭЭӨ жағдайындағыдай арнайы пішіндегі электродтарды дайындаудың қажеті жоқ, бұл уақыт пен құралдарды үнемдеу дегенді білдіреді. ЭР-жону теориясы (электр разрядын сканерлеу деп аталатын) 8.21-суретте көрсетілген. Әр жолдан алынып тасталатын қабат қалыңдығы тегіс емес жолдарда 0,1 мм-ден бірнеше миллиметрлерге дейін және мәре жолдарда 1-ден 100 мкм-ге дейін өзгеріп тұрады.

8.3.2.1 Фрезерлік электр разрядын қолдану салалары

ЭР-жону технологиясы әсіресе үшөлшемді пішімдерді қоса алғанда конустылығы бар немесе онсыз қуыстарды өңдеу үшін қолдануға жарайды. Ол әсіресе электротехникалық және электрондық өнеркәсіпке арналған бөлшектердің баспақалыптарын, тұрмыстық техниканы, сондай-ақ тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпалардан жасалған автокөлік және авиациялық компоненттерді дайындау үшін қолданылады. ЭР-жонудың технологиялық өрлеуі бұл процестің бұрыштары үшкір жұқа әрі күрделі қалыптарды жүргізу мүмкін болатын микроөңдеу саласына кіруінде.



8.21-сурет. ЭР-жону теориясы. (Mitsubishi EDSCAN Technical Data ұсынылды, 1997.)



8.22-сурет. Микро-ЭХӨ-жону. (h Mitsubishi EDSCANT echnical Data ұсынылды, 1997.)

Екі өлшемді қалып траекториясы тұтас пішінді сақтау үшін білдекке алдын ала салынған СББ жүйесімен құрылады. Қабат бойынша өңдеу 8.22-суретте көрсетілгендей қажетті тереңдікке жетпейінше бірнеше рет сандық басқару бағдарламасын орындау арқылы жүргізіледі. ЭР-жону технологиясы 1996 жылдың қазанында Ганновер көрмесінде Mitsubishi-мен және Charmilles-пен қысқаша таныстырылды. Содан бері бұл технология микродискілерді дайындау және авиация өнеркәсібі сияқты салаларда назар аударды.

8.3.2 Фрезерлік электр разрядының артықшылықтары мен шектеулері

Артықшылықтарына төмендегілерді жатқызуға болады:

- Электродтардың конструкциясы және дайындалуы толық түсірілген.
- Дәл пішіндер жасауға болады.
- Электродтың тозуын қарастырудың қажеті жоқ.
- СББ деректері ЭЭӨ бөлшектерінің деректерінен тікелей алынған.
- Үшкір шеттер мен бұрыштар шектен тыс фронтальді тозу себебін оңай дайындалуы мүмкін.

ЭР-жонудың кемшіліктері мен шектеулері:

- Жою жылдамдығы БЭЭӨ-ге қарағанда аз болуы мүмкін.
- Егер үлкен бүйір конустылық (10° немесе одан көп) болса, бүйір дәлдікті ұстап тұру қиын.

8.3.3 Электрондық-сәулелік өңдеу

Тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпалардың әртүрлі қорытпаларындағы тесіктерді бұрғылаудың және жіктерді кесудің жұмыс параметрлері 8-15 және сәйкесінше 8.16-кестеде келтірілген.

Әртүрлі диаметрдегі цилиндрлік, конустық және бөшке тәрізді тесіктерді секундына бірнеше мың тесік жылдамдықпен нақты дәлдікпен бұрғылауға болады. Ыстыққа төзімді қорытпада ЕС-мен бұрғыланған тесіктер $60-90^\circ\text{C}$ бұрышпен профильді белдікке оңай өңдеуге болады. Бұрыштар тесігі 15° -қа бүгілуі мүмкін. Электрондық сәулемен (ЭС) бұрғыланған тесіктердің шағын диаметрі және тереңдігі 1,5 мм және сәйкесінше 10 мм құрайды, аол әр жақтың арақатынасы әдетте 1:1-15:1 құрайды [40]. Қалыңдығы 1,6 мм тот баспайтын болаттан жасалған пластинадағы 0,2 мм x 6 м тікбұрышты саңылаулар 5 минут ішінде 140 кВ, 120 пА кернеуде, 80 мкс импульс ұзақтығында және 50 Гц жиілікте құрылады. Траверс жылдамдығы жұмыс қалыңдығына кері пропорционал (8.16-кесте).

8.23-суретте 304 тот баспайтын болаттың шығарылатын қуысының көлемі мен Li импульстік заряды арасындағы пропорционалды тәуелділік көрсетілген.

8.3.4 Лазерлік өңдеу

Материалдарды өнеркәсіптік лазерлік өңдеу саласындағы барлық қолданудың шамамен 5%-ы – бұл лазерлік өңдеу операциялары [42]. Бұл мәнмәтінде ұшақтарға, сондай-ақ электр станцияларына арналған газ турбиналарындағы суыту сұйықтықтарының генерациясы ең маңызды белгіленген бұрғылау қосымшасы болып табылады.

8.15-кесте. ЭСӨ тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпалардың тесіктерін бұрғылауға арналған параметрлер

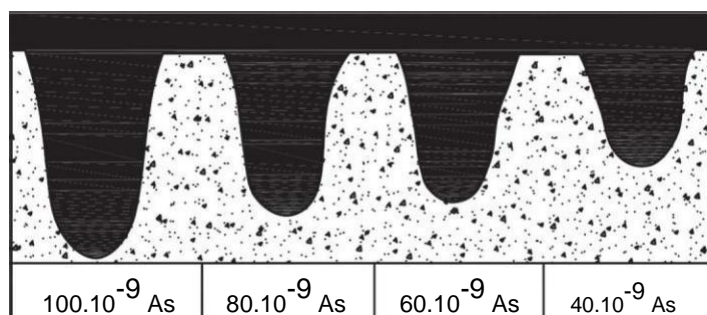
Бұйым қалыңдығы(мм)	Тесік диаметрі (мм)	Бұрғылау уақыты (s)	Жылдамдата тын кернеу (kV)	Сәуленің орташа тогы (pA)	Импульс ені (ps)	Соғу жиілігі(Гц)
<i>Тот баспайтын болаттан алынған ферритті және мартенситті қорытпалар</i>						
0,25	0,013	<1	130	60	4	3000
<i>Басқа тот баспайтын қорытпалар (аустенитті)</i>						
1,0	0,13	<1	140	100	80	50
2,0	0,13	10	140	100	80	50
2,5	0,13	10	140	100	80	50
6,4	0.5-1.0	180	145	4000	2100	12,5
<i>Хастеллой (Ni негізіндегі қорытпа)</i>						
10	2,5	70	130	5000	5300	100

Меткут-тан алынды.

8.16-кесте Жіктерді кесуге арналған параметрлер ЭСӨ тот баспайтын болаттарда

Оймакілтектің бұйым қалыңдығы (мм)	ені (мм)	Кесу жылдамдығы (мм/ми)	Жылдамдататын кернеу (kV)	Орта арқалық ток (pA)	Жиілігі ені (ps)	Жиілігі (Hz)
0,05	0,05	100	130	20	4	50
0,18	0,10	50	130	50	80	50
1,57	0,2	1,25	140	120	80	50

Metcut-тан алынды [1].



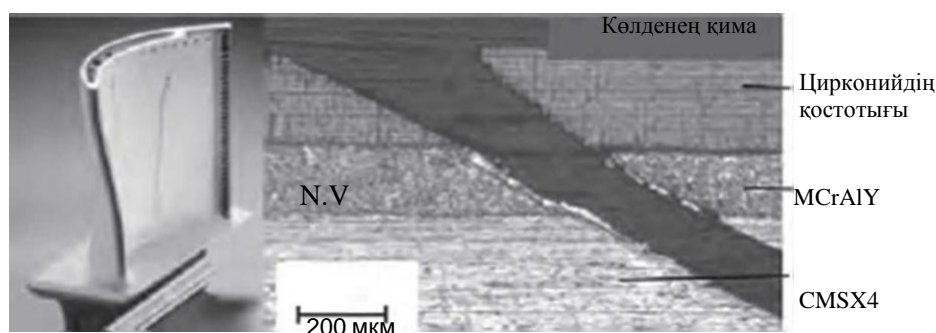
Литийдің импульстік заряды

8.23-сурет. 304 тот баспайтын болаттың түзілетін қуысы мен Li импульстік заряды арасындағы пропорционалды тәуелділік [41].

Жүйелі лазерлік технологияның (мысалы, лазер көздері, деректерді дайындауға арналған бағдарламалық қамтамасыз ету, машинаны басқару, жайғастыру жүйелері, сенсорлық құрылғылар және т.б.) тұрақты дамуы, сондай-ақ жобалау еркіндігін және экономикалық тиімділікті қамтамасыз ететін лазерлік бұрғылаудың жаңа стратегияларын әзірлеу соңғы он жыл ішінде айтарлықтай артты. Күрделі геометриядағы көп компонентті жүздерде жоғары дәлдікпен, айнымалы диаметрмен және пішінмен жүздеген/мыңдаған суытатын тесіктерді бұрғылауға болады (8.24-сурет).

Негізгі мәселелердің бірі ең кем дегенде микрожарықшақтардың қатты түзілуінен және жабын қабаттарының түсіп қалуын тудыратын жылулық зақымданудан бір керамикалық қорғаныс қабатымен металл жабындардан тұратын материалдардың көп қабатты жүйелерінде бұрғылау болып табылады. Бұдан бөлек, суытудың едәуір тиімділігіне қол жеткізу үшін суытатын тесіктер әдетте конустық немесе фигуралық пішінге ие болады [43]. ЭЭӨ-де білдектерге шығындар салыстырмалы төмен [27] және түтінді азайту жағынан процесс өте жақсы бақыланады, ол электрөткізгіш материалдарды өңдеумен шектелген және сондықтан керамикамен жабылған турбиналардың қалақтары үшін қолданылуы мүмкін емес.

8.17 және 8.18-кестелерде өңдеу параметрлері және әртүрлі тот баспайтын болаттарда орындалатын бұрғылау және қашау операцияларына арналған лазерлер келтірілген. Басқа тот баспайтын қорытпалармен салыстырғанда балқытылған металдың аз аққыштығы есебінен аустенитті қорытпаларды лазерлік өңдеу кезінде қанағаттанарлықсыз нәтижелерге жету болжанады (8.18-кесте). Бұдан бөлек, O_2 көмекші газ (8.17 және 8.18-кестелер) ретінде қолданылған кезде кесудің өте жоғары жылдамдықтары жүзеге асады. Тиімділікті механикалық өңдеуге ұшырата отырып өлшеуде траверсті кесу жылдамдығы v_t (ГАЗ үшін 20 м/мин – тот баспайтын болат лазерін кесу.)



8.24-сурет. Суытатын тесіктерді лазермен бұрғылау: MCrAlY және цирконий диоксидінің қабатымен жабылған, CMSX турбина қалағында бұрғыланған, суытатын тесіктері және суытатын тесіктің көлденең қимасы бар керамикалық тозуға төзімді қабатпен жабылған никель негізіндегі турбина қалағы. (Beck [42] және Horn et al. құрылды [43].)

8.17-кесте Nd-YAG лазерінің көмегімен ТББ 304 диаметрі 0,12 мм тесіктерді бұрғылау параметрлері (1,06 мкм)

WP-қалыңдық (мм)	Қосалқы газ	Бұрғылау уақыты(с)	Шам тогы (А)	Орташа қуаты (Вт)	Максималды қалыңдығы (мм)
3.0	Оттегі	88	34	31	4.8
3.0	Аргон	221	34	31	4.8

Дереккөз: Меткут [1].

8.18-кесте Газ түріндегі көміртегі CO₂ (10,6 мкм) лазермен әртүрлі ТББ түрлерін кесуге арналған параметрлер

Тақта қалыңдығы (мм)	Қосалқы газ	Кесу жылдамдығы (м/мин)
<i>250 Вт лазер</i>		
2.3	Оттегі	0.76
<i>500 Вт лазер</i>		
0.3	Оттегі	3.71
1.0	Оттегі	1.65
3.2	Оттегі	0.89
<i>1000 Вт лазер</i>		
0.5	Оттегі	19.00
0.8	Оттегі	16.50
1.6	Оттегі	11.40
3.2	Оттегі	5.08
<i>1250 Вт лазер</i>		
1.0 (аустениттік)	Оттегі	8.89
3.2 (аустениттік)	Оттегі	3.05
3.2 (аустениттік)	Ауа	1.52
5.2 (ферриттік/мартенситтік)	Оттегі	1.78

Дереккөз: Меткут,Саундерс [44].

VT көлденең кесу жылдамдығы (тот баспайтын болат газ лазерлік кесу үшін 20 м/мин дейін) өңдеу тиімділігінің өлшемі болып табылады. Бұл лазердің р қуатына және Т пластинасының қалыңдығына байланысты (8.18 кесте). Олар белгілі бір материал үшін келесі теңдеумен сәйкес келеді.

$$v_r \alpha \frac{P}{t}$$

Негізгі импульстік лазерлік жүйелер лазерлік бұрғылау үшін қолданылады, мұндай импульстің ұзақтығы тесік сипаттамаларына және өңделетін материалға байланысты. Турбина компоненттерін лазерлік бұрғылау саласында импульс ұзақтығы әдетте нано немесе миллисекундты құрайды. Талап етілетін импульс энергиясы негізінде материалдың нақты химиялық құрамына, материал қалыңдығына, сондай-ақ тесіктің қажетті диаметрі мен пішініне байланысты.

НД:ИАГ лазерлерінің жетілдірілген конструкциялары қалыңдығы 50 мм-ге дейін никель негізіндегі ыстыққа төзімді қорытпаларды ЭЭӨ асатын жылдамдықта кесуге мүмкіндік береді. 8.19-кестеде үш әртүрлі қуат деңгейінде импульс энергиясы 10 Дж/импульс НД:ИАГ қолдана отырып, әртүрлі қалыңдықтағы Инконель 718 пластиналарын лазерлік өңдеу кезіндегі жартылай разрядтау уақыты көрсетілген. Осы кестеден жұқа қабаттарды (2,5 мм-ге дейін) бұрғылау уақыты қуат деңгейіне байланысты емес екені көрінеді. Сондықтан жұқа пластиналарды бұрғылау үшін аз қуат деңгейін қолдану ұсынылады және осы себептен ЛСӨ шағын табактарды бұрғылау және қашау үшін ыңғайлы.

Сәулеленетін материал көлемі ішінде лазерлік импульс ұзақтығына және лазерлік импульстің шындық қарқындылығына қарай әртүрлі физикалық механизмдер жүреді. Материалдың жойылуын тудыратын басым эффектілер балку және булану болып табылады. Импульстік лазерлік кіру сәулесі қарқындылығының уаытша және кеңістікті гаусс таралуы болжана отырып, булану тесік ортасында жүреді және материалдың айналасындағы тіліктерде балкиды. Қарқындылығы шамамен 106 Вт/см² және импульс ұзақтығы шамамен бірнеше миллисекунд лазерлік шың үшін балку материалдың жойылуына және тесіктердің түзілуіне жауапты басым әсер болып табылады. Лазердің шындық қарқындылығын 106 Вт/см²-ден әрі қарай көбейткен кезде сублимациялық бұрғылау жүреді. Бұл жағдайда материалдың жойылуын тудыратын басым әсер буланатын плазманы түзу арқылы абляциялау болып табылады. Бұл контекстінде қолданылатын шындық қарқындылық материалға тәуелді шекті мәннен асып кетуі тиіс. Осындай жоғары қарқындылыққа жету үшін барынша қысқа лазерлік импульстер қажет етіледі. Сублимациялық бұрғылауға жарамды жүйе импульстер ұзақтығы 10-100 НС Q-ауыстырылатын НД:ИАГ лазерді білдіреді. Плазманың түзілуіне және материалдың кезекті жойылуына толық түсініктемені [4, 45, 46] әдебиеттен табуға болады.

8.19-кесте. Импульс энергиясы 10 Дж НД:ИАГ лазерді қолдана отырып, пластина қалыңдығы әртүрлі Инконель 718 үшін секундтарда соқпалы бұрғылау уақыты / қуаттың әртүрлі деңгейлеріндегі импульс

НД:ИАГ-лазер қуатының орташа деңгейі (W)	Инконель 718 метрдегі пластина қалыңдығын бұрғылау уақыты, милли секундпен					
	s = 2,5 мм	s = 5 мм	s = 10 мм	s = 15 мм	s = 20 мм	s = 25 мм
75	0,5	3	15	37	65	95
150	0,5	2	5	17	33	55
250	0,5	1	4	12	23	38

Меткуттен берілген [1].

Турбиналық қалақтардың тесіктерін суытуға арналған лазерлік бұрғылау: Өнеркәсіпте құрылған лазерлік бұрғылау жұмыстары бір импульстік бұрғылауды, соқпалы бұрғылауды (СБ), сақиналы және шиыршықты бұрғылауды қамтиды. Турбина қалақтарындағы тесіктерді суыту үшін сәйкес келетін бұрғылау операциялары соқпалы бұрғылау және тесу болып табылады [42]. Трепанациялық және соқпалы бұрғылау принциптері сұлба түрінде 8.24-кестеде көрсетілген. Бұрғылау технологияларының толық теориялық сипаттамасы Porgawe

[46] және Majundar-мен ұсынылған [45]. Бұрғылау барысында инерттік газ ағыны фокустаушы оптиканы қорғайды. Газ ағыны материалды жоюға көмектесу және аблирленген материалдан тұнбаларды шөгінділерін балқыту арқылы тотығудың алдын алу үшін де қолданылады.

Соқпалы бұрғылау кезінде тесу операциясына қарағанда дайындамадағы бір күйде дақ қозғалыссыз болады. Жуық цилиндрлік тесіктердің диаметрлері шамамен 0,5-0,7 мм құрайды, ал әр жақтың қатынасы әрі кетсе 1:20 құрайды [42]. Маңызды сәт дайындама бетіне қатысты фокустау жазықтығын дәл жайғастыру болып табылады, ол дайындама материалының функциясы болып табылады. Бұл ретте фокустау дағының оңтайлы күйі дайындама бетіндегі дайындама қалыңдығының шамамен 5-15%-да тұрады [42]. Тәжірибеде нақты міндеттің ең жақсы шешімі тесік сапасын геометрия тұрғысынан талдау арқылы, тесік шетінде және дайындама бетінде рекомбинацияланатын аблирленген материалдың жарықшақтарын және мөлшерін бөлу арқылы эмпириялық түрде анықталады [47].

Тесу кезінде лазер сәулесі дайындамаға қатысты бұрылады, соның нәтижесінде лазерлік дақтың диаметрі тесік диаметрінен айтарлықтай аз. Тесік фокусталған лазер сәулесінің бір циркуляциясы кезінде цилиндрлік өзекті жою арқылы құрылады. Айналмалы лазерлік дақтың принципі тесіктер конструкциясы тұрғысынан тесіктерді жоғары жаңғыртумен және жоғары икемділікпен генерациялау мүмкіндігін береді. Бұдан бөлек тесік пішіні дөңгелек болмауы мүмкін. Соқпалы бұрғылаумен салыстырғанда тесу көп уақытты және турбина қалағына көп жылуды алады.

7-тарауда айтылып өткендей, жұмыс материалындағы көміртек мөлшері СҚ-да алынған терең тесіктер бетінің сапасына әсер етеді. Ол жоғарыда аталған себептерден көміртек мөлшерінің ұлғаюымен күшейеді. Сондықтан беттің нашар сапасы тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды терең өндеуде күтіледі, сондықтан бұл қорытпалар әдетте көміртектің төмен мөлшеріне ие [4].

8.3.5 Плазмалық кесу

Бұл процесс басқа дәстүрлі емес өндеу процестерімен салыстырғанда тот баспайтын және экзотикалық материалдарды кесу кезінде ең жоғары кесу жылдамдығымен және ең төмен меншікті кесу энергиясымен сипатталады. Доға үшін қолданылатын газ (бастапқы газ) N_2 , H_2 , Ar немесе әртүрлі қоспалар болуы мүмкін. Сығылған ауа 8.20-суретте көрсетілгендей ТБ пластинасының қалыңдығына қарай кесу жылдамдығын арттыру үшін де қолданылуы мүмкін. Алайда бастапқы газ ретінде ауаны пайдалану тілік беттерінің тотығуын қажет етеді.

CO_2 тот баспайтын болаттар үшін бастапқы газ ретінде N_2 -мен қолданылуы мүмкін (8.21 және 8.22-кестелер). Су шымылдығы қорғаныс газының орнына қолданылуы немесе қиғаштығы төмендетілген және тар тілікті, бірақ кесу жылдамдығын жақсартпай таза тілік алу үшін плазма ағынына енгізілуі мүмкін. Дегенмен шүмектің қызмет ету мерзімі судың суытатын әсері есебінен жақсартылуы мүмкін. 8.23-кестеде Al және көміртекті болат үшін кесу жылдамдығы көрсетілген. Осы кестеден көрінгендей, плазмалық доғалы кесуді пайдалану кезінде Al ең жақсы өңделу көрсеткішіне ие, содан кейін тот баспайтын болаттар, кейін көміртекті болат.

8.20-кесте. Бастапқы газ ретінде Ar/H_2 немесе ауаны қолданатын ТБ-ға арналған РАС кесу жылдамдығын салыстыру

Қалыңдығы (мм)	Кесу жылдамдығы		Ескертпелер
	(м/мин) Ar/H_2	Ауа	
5	5,0	5,0	Кесу жылдамдығының артуы егер ауа қолданылса
10	2,6	3,4	
15	1,5	1,8	
20	1,1	1,2	
25	0,8	0,85	
30	0,65	0,6	
35	0,5	0,4	
40	0,4	0,3	
45	0,35	0,25	
50	0,3	0,2	
60	0,3	0,2	

Алынды: Холден [48].

8.4 ЭХӨ-ді және турбомашина компоненттерінің термoeлектрлік процестерін экономикалық талдау

Бұрын электрохимиялық, электрофизикалық және фотондық процестерді пайдаланудың техникалық мүмкіншіліктері және салалары талданды, олар турбомашина компоненттерін дайындау үшін ЭХӨ, ЭЭӨ және материалды лазерлік жоюдың кең потенциалын көрсетті.

Перспективалық және қиын өнделетін материалдарды өңдеу кезінде оларды пайдаланудың айқын артықшылықтары, соның ішінде орымның жоғары жылдамдығы, өте жақсы геометриялық дәлдік және беттің оңтайлы тұтастығы анықталды [10].

Турбомашина компоненттерінің тиімді өндірісі үшін Клоке және басқ, жеке технологиялық баламалардың экономикалық талдауын зерттеді [50]. ЭЭӨ сияқты МЖЖ төмен, бірақ пайдалану шығындары салыстырмалы түрде төмен өңдеу процестері өндірістік шығындарды барынша азайту мақсатында өндірісті басқа дәстүрлі немесе дәстүрлі емес технологияларымен салыстырғанда бәсекеге қабілетті болатындай бағалануы тиіс. Балама ретінде ЭХӨ және ИЭХӨ (МЖЖ жоғары) бүкіл процесс үшін қолданылуы мүмкін, себебі олар бір базалық технологияны қолдана отырып қаралтым, таза өңдеуге және жылтыратып өңдеуге қабілетті. Басқа технологиялық процестер бөлек білдектерді қажет еткен кезде ЭХӨ және ИЭХӨ бір қондырғыда жүзеге асырылуы мүмкін. Керісінше, мұндай білдектер технологиялық процеспен және электрод-құрал конструкциясымен бірге мұндай білдектер күрделі, сондықтан қымбат болып табылады. Экономикалық баламаны анықтау үшін барлық сәйкес келетін шекті шарттарды ескеретін шығындардың тиісті моделін орындау және басты параметрлерді өзгерту кезінде оны үнемі жаңартып отыру қажет.

Мұндай экономикалық салыстыру көп осьті жону арқылы қатты денеден тесіктер кесуге арналған қаралтым өңдеудің, белгілі бір партия мөлшеріне арналған геометрия және технологиялық басты параметрлер тән титан мен никель негізінде БЭЭӨ және ЭХӨ-де блисктің әртүрлі стратегиялары үшін жүргізілді.

МЖЖ жалпы өндірістік шығындарға көп ықпал етеді, себебі олар процестің тура уақытына әсер етеді, осылайша білдекке сағаттап төлеуге және еңбекке ақы төлеуге жауап береді. Керісінше, жабдыққа жұмсалатын шығындар шектеулі әсерге ие, дегенмен олар назарға алынуы тиіс. Салыстыру мүмкіндігін қамтамасыз ету үшін блисктерді дайындауға сәйкес келетін басқа өндірістік параметрлерді тұрақты ұстап тұру керек [10].

8.21-кесте. ТБРАС кесу жылдамдығы және ағымдағы таңдау

Тақта қалыңдығы (мм)	Кесу жылдамдығы (м/мин)	Қуатты таңдау
		Ток күші (А)
6	1,78	105
	2,54	140
13	0,51	135
	1,02	190
	2,54	270
	3,81	700
	0,51	210
25	0,76	270
	2,03	540
	2,79	1000
	0,25	280
38	0,51	420
	1,02	620
	1,78	1000
	0,13	320
51	0,25	610
	1,02	950
	0,13	410
64	0,25	550
	0,51	820
	0,13	510
76	0,25	675
	0,51	1020
	0,25	730
89	0,51	1110
	0,13	675
102	0,25	900
	0,13	900
114	0,13	900
127	0,076	1100
140	0,076	1100

Bagley-ден алынды [49], Machining Data Handbook, Vol. 2, Metcut, 1980, p. 12.99 -12.100 дәйексөз алынды.

Инконель 718 үшін бастапқы өңдеудің ең үнемді процесі өте күрделі болып табылады. Білдекке жұмсалатын төмен инвестициялық шығындармен және МЖЖ, БЭЭӨ салыстырмалы жоғары орташа көрсеткіштерімен, әсіресе жылына 400 блик өлшемді партиялар үшін тіршілікке икемді балама болып табылады. Серияның үлкен өлшемдері жағдайында ЭХӨ ең пайдалы технология. Партияның 100 өлшемдері барынша толық талдауды қажет етеді. Партияның 200 өлшемі кезінде құралға төмен шығын жұмсап жону, БЖЖӨ және ЭХӨ шығындардың бірдей деңгейіне жетеді. Механикалық құралдардың көп санымен блискке аршу бағасын азайтады. Бұл эффектіге әр білдек үшін қуаттардың жүктелуін көбейту себеп, мұнда бірлікті инвестициялық шығындар нормаланады [50].

Мысалы, ЭХӨ-ді қолдану кезінде қылаулардың жоюдың қосымша операциясы қажет етілмейді. Екінші жағынан қосымша жуу операциялары қажет болуы мүмкін. Энергияға және қайта өңдеуге жұмсалатын шығындар барынша жоғары мәнге ие болады және сондықтан ескерілуі тиіс.

8.22-кесте. СҚ үшін PAC кесу жылдамдығы және өңдеу шарттары

Өңдеу шарттары	Табак қалыңдығы (мм)	Кесу жылдамдығы (м/мин) Жақсы/максималды
<i>Ток күшін таңдау: 100 А</i>	6	1.25 / 2.54
Бастапқы газ N ₂ (1,55 м ³ / ч, 2,07 бар)	13	0.51 / 0.76
Екінші ретті газ CO ₂ (5,8 м ³ / ч, 2,75 бар)	25	0.23 / 0.28
<i>Ток күшін таңдау: 200 а</i>	6	1.65 / 3.43
Бастапқы газ N ₂ (1,95 м ³ / ч, 2,07 бар)	13	1.27 / 1.78
Екінші ретті газ CO ₂ (5,8 м ³ / ч, 2,75 бар)	25	0.51 / 0.66
	38	0.30 / 0.40
<i>Ток күшін таңдау: 400 А</i>	13	1.91 / 3.05
Бастапқы газ N ₂ (1.4 м ³ /h, 1.40 bar)	25	1.02 / 1.40
Екінші ретті газ CO ₂ (5,8 м ³ / ч, 2,75 бар)	38	0.64 / 0.97
	64	0.30 / 0.38
	76	0.20 / 0.25

Thermal-Dynamic Corp. ұсынылды, Machining Data Handbook, Vol. 2, Metcut, 1980, p. 12,102 дәйексөз алынды.

8.23-кесте. СҚ, АІ, болат және көміртек үшін су бүрку үшін PAC кесу жылдамдығы және өңдеу шарттары

Өңдеу шарттары	Табак қалыңдығы (мм)	Кесу жылдамдығы(м/мин)		
		Көміртекті болат	ТББ	АІ
		Жақсы/максималды	Жақсы/ең жақсы/максималды	
<i>Ток күшін таңдау: 300 А</i>	6	1.5 / 2.8	1.9 / 3.3	2.2 / 3.7
Бастапқы газ N ₂ (2.1 м ³ /сағ, бар 2.07)	13	1.0 / 1.5	1.3 / 1.8	1.4 / 2.0
30/60 л/сағ-пен суды айдау	25	0.5 / 0.6	0.6 / 0.9	1.0 / 1.5
	38	0.3 / 0.4	0.4 / 0.5	0.5 / 0.6

Thermal-Dynamic Corp. ұсынылды, Machining Data Handbook, Vol. 2, Metcut, 1980, p. 12.103 дәйексөз алынады [1].

Сондай-ақ дәстүрлі кесу операциялары нәтижесінде түзілген ластанған жоңқайның қайта айналуын сыни бағалау да маңызды. ЭХӨ материалды жоюдан қалған созғыш кернеулер улау, бытыралы ағынмен өңдеу немесе ҚӨА сияқты бетті әрлеудің кезекті операцияларымен бейтараптандырылуы мүмкін. Сонымен, материалды жоудың механикалық емес процесін пайдалану кезінде индукцияланған күштердің маңызы аз болып қалады, бұл осы уақытқа дейін дәстүрлі процестерді қолдану кезінде мүмкін болмаған өрнекті әрі күрделі геометрияны өңдеуге, сәйкесінше құруға мүмкіндік береді [10].

8.5 Терең ойықтарды дәстүрлі емес микро-бұрғылау – салыстыру

Заманауи авиациялық қозғалтқыштардың өнімділігі әдетте турбина және жану камерасы сияқты ыстыққа төзімді қорытпалардан дайындалған ыстық компоненттерді суытуға арналған шағын тесіктердің өте көп санына байланысты. Ауа турбинасы роторының және статорының заманауи торабында тиісті диаметрдегі және әр жағының арақатынасы 1-4 және сәйкесінше 20-200 мм 20 000-нан көп шағын суыту тесіктері бар. Ротордың қалақтары жоғары кернеуге және дірілге ұшырайды, сондықтан беттің пішіні және әрленуі қажу беріктігіне әсер етуі мүмкін. Турбиналық қалақшалар өте жоғары температуралар әсеріне ұшырайды және қиын өңделетін суперқорытпалардан дайындалады. Сәйкесінше, суыту үшін терең тесіктерді әдетте ДЕӨ әдістемесі бойынша бұрғылайды [51]. 8.24-кестеде микро-терең суытушы тесіктерді алуда қолданылатын ЕС және дәстүрлі емес жылулық әдістер салыстырылады. Осы кестеден көрінгендей, ПҚЭӨ төмендегілер тұрғысынан оңтайлы әдіс болып табылады:

1. тесіктің қажетті физикалық өлшемдері;
2. бұрғылаудың үлкен тереңдігі және әр жақтың арақатынасы;
3. беттің сапасы және тұтастылығы;
4. салыстырмалы түрде төмен энергия тұтыну.

8.25-суретте сондай-ақ тесіктерді бұрғылаудың жоғарыда аталған бәсекеге қабілетті әдістері салыстырылады, содан көрінгендей, ЛСӨ және электрондық-сәулелік өңдеу өңдеу жылдамдығына, диаметрлердің дәлдігі мен диапазонына қатысты бәсекелеседі. ЛСӨ-ні де, ЭСӨ-ні де материалдардың қалыңдығы немесе терең тесіктер үшін тиімді қолдану мүмкін емес. Алайда лазерлік сәуле ЕВ сияқты вакуумды қажет етпейді [4]. ЭӨӨ әр жақтың жоғары арақатынасымен суытушы тесіктерді жасай алмайды. Бұдан бөлек, ол бетінің әрленуі нашар және саңылаусыз тесіктер жасайды.

ЭА сырықпен салыстырғында сығу коэффициенті төмен және тереңдігі аз тесіктерді жасау кемшілігіне ие. Ол едәуір жоғары жұмыс кернеуіне ие, бұл өте жоғары тұтынуды қажет етеді. Бұдан бөлек, ЭА-ның терең бұрғылау кезінде капиллярлардың ажырауы қосымша мәселе тудырады.

ЭА сырықпен салыстырғында сығу коэффициенті төмен және тереңдігі аз тесіктерді жасау кемшілігіне ие. Ол едәуір жоғары жұмыс кернеуіне ие, бұл өте жоғары тұтынуды қажет етеді. Бұдан бөлек, ЭА-ны терең бұрғылау кезінде капиллярлардың ажырауы қосымша мәселе тудырады.

8.6 Тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды термиялық өңдеу

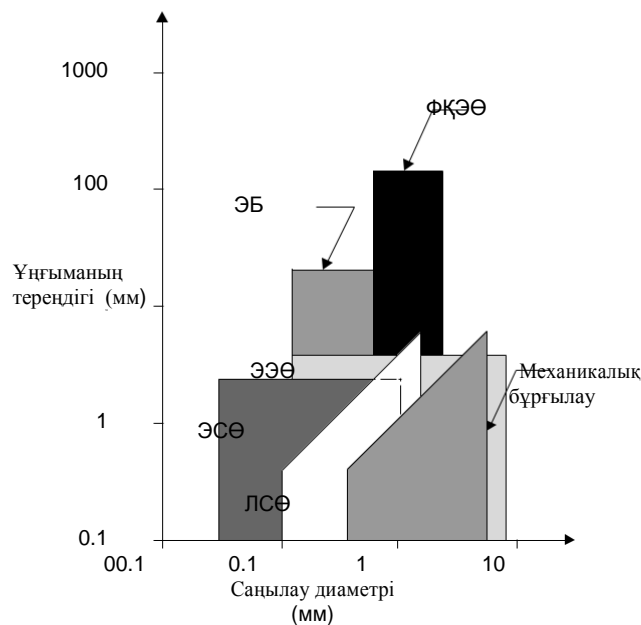
Қиын кесетін материалдар мен ыстыққа төзімді қорытпалар – барлығы термиялық өңдеуге үміткерлер. Әдетте қаттылығы 40-70 RC жұмыс материалдары термиялық өңдеу үшін қарастырылуы тиіс. Жұмыс материалының нашар жылу өткізгіштігі жылу беру уақыты мен кесу уақыты арасында жылудың жоғалуын азайтуы мүмкін.

8.24-кесте. Терең ұңғымаларды микробұрғылаудың дәстүрлі емес әдістерінің сипаттамасы – салыстыру

Параметрлер	НТМ-техника				
	ПҚЭӨ	ES	ЭӨӨ	ЛСӨ	ЭСӨ
Тесік диаметрі (мм)	0.75-2.5	0,12-0,87	0.12-6.5	0.12-1.2	0.03-1
Тесік тереңдігі (мм)	125	20	3	5	2,5
Әр жақтың арақатынасы	300:1	40:1	10:1	16:1	6 : 1
Кесу тарифі (п/с)	25	25	12	<1000	250
Жұмыс кернеуі (в)	5-25	150-850	30-100	—	150 кв
Беттің кедір-бұдырлығы (Ra) (pm)	0.8-3	0.3-1.5	1.5-3	0.8-6	0.8-3
Беттің тұтастығы	ЖӘА №	ЖӘА №	ЖӘА	ЖӘА	ЖӘА

Шарма және басқалардан алынды [51].

	Қол жеткізілген дәлдік	Өңдеу жылдамдығы
ЭЭӨ	10 мкм	
Механикалық бұрғылау	> 20 мкм	
ФҚЭӨ	0.1 d	
ЛСӨ	(0.05–0.2) d	
ЭСӨ	(0.05–0.1) d	



8.25-сурет. Микро терең тесіктерді бұрғылаудың дәстүрлі емес операцияларын салыстыру

Al, Cu және Ti өздерінің салыстырмалы жоғары жылу өткізгіштігімен термиялық өңдеу үшін жақсы үміткерлер емес. Термиялық өңдеу қосымшаларының көбісі бұрылуға арналған; Дегенмен, тәжірибелік жұмыс жонуға және қашауға жүргізілді. Тот баспайтын болат және ыстыққа төзімді қорытпа сияқты қиын өңделетін материалдардың үлкен тіліктері термиялық өңдеуді қолдану кезінде ең жоғары экономикалық пайдаға ие.

8.6.1 Тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды термиялық өңдеу үшін тұтастық пен өшірудің беттік тарифтері

Термиялық өңдеуде жылу көзінің параметрлері бұрудың қарапайым параметрлеріне қосылады. Жылу көзінің ажырау қашықтығын және бұрыштық күйін ескеру қажет. Бұдан бөлек, қажетті кесу тереңдігінде орынды, бірақ шектен тыс емес температураға қол жеткізу үшін жылуды жеткізу, кесу тереңдігі және жылдамдық арасында мұқият теңгерім болу қажет [Metcut]. Жеткізілетін жылулық және кесу жылдамдығы тиісті түрде теңдестірілгеннен кейін кесу кезінде жұмыс материалы металлургиялық құрылымды өзгерту үшін жеткіліксіз қыздырылады.

8.25-кесте. Әдеттегі қайрау кезінде ұсынылатын жылдамдықты және ыстыққа төзімді қорытпалар мен аустенитті тот баспайтын болаттар үшін ТӨ-ді салыстыру

Өңделетін материал	Кесу жылдамдығы (м/мин)		Жылдамдықтардың арақатынасы
	Әдеттегі бұру	ТӨ	V : V ТӨ усл.
Нимоник 115	11	150	14
Стеллит (жұмсақ)	6-15	120	20-8
Стеллит (қатты)	Тек ажарлау	110	—
Инконель 718	30	120	4
Уаспалой	27	120	4,5
Рене 41	8	125	16
Аустенитті тот баспайтын болат (Cr / Mn)	3	12	4

Металдар бойынша анықтамалықтан алынды [2].

Сәйкесінше, әдеттегі қайрауға байланысты беттің кедір-бұдырлығы, шектер, пластикалық деформация, қалдық кернеулер және т.б. тең дәрежеде ТӨ-ге жатады [Metcut]. Дегенмен МЖЖ едәуір артады, себебі дайындама жұмсарады. Жылжу күші және кесудің меншікті энергиясы азаяды. 8.25-кестеде әдеттегі қайраумен салыстырғанда ыстыққа төзімді қорытпалар мен тот баспайтын болаттар үшін ТӨ-нің жақсартылған көрсеткіштері аталып өткен, бұл осы материалдар өңделімділігінің айтарлықтай жақсарғанын білдіреді [1].

8.6.2 Лазерлік жонып өңдеу (ЛЖӨ) Инконель-718

Лазерлік өңделген керамикалық ендірмелері бар Инконель-718 жонып өңдеу кезінде СО₂-лазердің жоғары жұту энергиясымен материалдарды қолдану арқылы ең жақсы кесу сипаттамаларына қол жеткізілді. Кесудің меншікті энергиясы температураны 30°C-тан (қарапайым өңдеу) 620°C-қа (ЛЖӨ) жоғарылату есебінен 25%-ға дейін төмендейді. Беттің кедір-бұдырлығы қарапайым өңдеу кезінде 1,8 мкм-ден 0,9 мкм-ге дейін, ЛЖӨ кезінде 540°C-та 0,9 мкм-ге дейін төмендеді. ЛЖӨ кезінде кесу жылдамдығын 60-тан 180 м/мин-қа дейін арттыру ЛЖӨ кезінде тиімді, себебі тіліктің тозуы жартылай азайды. ЛЖӨ кезінде бүйір жақтың орташа тозуы қарапайым өңдеу кезіндегіге қарағанда айтарлықтай төмен. ЛЖӨ едәуір артықшылығы қатты қорытпалы құралмен инконель-718 өңдеу құнының әдеттегі өңдеумен салыстырғанда 2/3-ке азаюында және 180 м/мин кезінде қарапайым өңдеумен салыстырғанда керамикалық құралдарды пайдалану кезінде екі есе болуында [8, СН4].

Бұдан бөлек, жақсартылған плазмалық өңдеу (ЖПӨ) арқылы өңдеу алюминий оксидінен жасалған арматураланған SiC-Whisker ендірмелермен жонып өңдеу кезінде инконель-718 өңдеу өнімділігін жақсартты. Дайындама температурасының әсері құралдың қызмет ету мерзіміне қатысты өте маңызды болып табылады. Плазма шығынының және қорғаныс газдарының бекітілген мәнімен тәжірибелік жұмыс барысында фланецтің тозуын өлшеді [7, СН4]. Тәжірибеде плазмалық токтың I (А), бастапқы көлемді температураның T₀ (К), дайындама диаметрінің D (мм), кесу жылдамдығының v (м/с) және беру жылдамдығының f (мм/айн) әсерлері қарастырылды. Беттің температурасы T_s (К) сәйкесінше эмпириялық теңдеу негізінде анықталады:

$$T_s = 80.3 \frac{I^{0.6} T_0^{0.06}}{v^{2.2} D^{0.4} f^{0.2}}$$

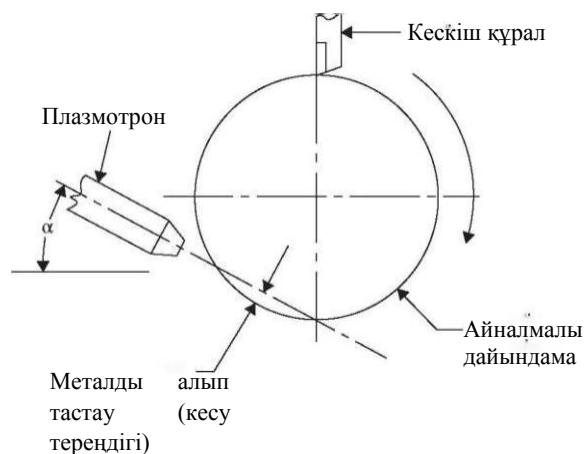
8.6.3 Ыстыққа төзімді қорытпалар мен ПЭ-тот баспайтын болаттарды плазмалық жонып өңдеу (ЛЖӨ)

8.26-кестеде дәстүрлі өндеуде күрделі Ni негізіндегі ыстыққа төзімді қорытпалардың кейбір типтерін және тұндырылған тот баспайтын болаттарды (РН-ТБ) плазмалық жонып өңдеу (ПЖӨ), бастапқы кесу және тазарту кезіндегі өңдеу параметрлері, МЖЖ және меншікті жою жылдамдығы аталып өткен. Өңдеу режиміне сәйкес, айналу жылдамдығы 10-100 м/мин кесу жылдамдығын қамтамасыз ету үшін 50-200 айн/мин диапазонында таңдалады, ал кескіш құрал және плазмалық жанарғы талап етілетін кесу түріне қарай 1-5 мм/айн жылдамдықпен беріледі. Жанарғы сәйкес келетін қауіпсіз қашықтықпен өңдеу нүктесінен бөлек орналасқан. Кесу тереңдігі көлбеу бұрышты өзгерту арқылы анықталады (8.26-сурет).

8.26-кесте. Ni негізіндегі ыстыққа төзімді қорытпалардың және рН-ТБ ПЖБ-нің өңдеу параметрлері, МЖЖ және меншікті жою жылдамдығы

Материал	Тілік типі	Ағымдағы Кернеу		Өңдеу (м/мин)	Беру (мм/айн)	МЖЖ (см ³ /мин)	Меншікті RR (кВт / см ³ / мин)
		(А)	(В)				
Инконель 718	Ірі	300	100	12	4,1	66	0,41
	Әрлеу	170	90	23	1,3	25	0,69
Рене 41	Ірі	325	95	16	4,1	82	0,37
	Әрлеу	240	90	32	2,0	33	0,69
Хастеллоу С	Ірі	200	130	9	2,5	57	0,32
	Әрлеу	140	100	18	1,3	25	0,69
РН тот баспайтын болат	Ірі	300	92	15	4,1	74	0,37
	Әрлеу	170	90	61	1,0	33	0,69

Бэгли-ден алынды [49], Machining Data Handbook, Vol. 2, Меткут дәйексөз алынады, 1980, р. 12-104. РН = тұнбалардың қатаюы.



8.26-сурет. ПЖБ-баптау.

Әдебиетке сілтемелер

- [1] Machinability Data Center (1980) *Machining Data Handbook* Metcut Research Associates, Inc, Vol. 2, 3rd edn Cincinnati, OH.
- [2] Editor Committee of ASM International (1989) *Metals Handbook: Machining* Vol. 16, ASM International Materials Park, OH.
- [3] Schwartz, B.L. (1985) Principles and applications of AWJ-Cutting. *High Productivity Machining Materials and Processes*. ASM, pp. 291–298.
- [4] Youssef, H.A. (2005) *Non-Traditional Machining Processes—Theory and Practice*, 1st edn, El-Fath Press, Alexandria.
- [5] Neppiras, E.A. and Foskett, R.D. (1957/1958) Ultraschall Material Bearbeitung – Prinzip und Apparatur, *PhilipsTech. Rundschau* 19(2): 98–110.
- [6] Soo, S.L., Hood, R., Aspinwall D.K., et al. (2011) Machinability and surface integrity of RR1000 nickel based superalloy. *CIRP Ann. Manuf. Technol.* 60:89–92.
- [7] Klocke, F., König, W. (2007) *Fertigungsverfahren 3: Abtragen, Generieren und Lasermaterialbearbeitung*, Springer, Berlin.
- [8] Reed, R.C. (2006) *The Superalloys*, Cambridge University Press, Cambridge.
- [9] Burger, M., Koll, L., Werner, E.A., Platz, A. (2012) Electrochemical machining characteristics and resulting surface quality of the nickel-base single-crystalline material LEK94. *J. Manuf. Processes* 14:62–70.
- [10] Klocke, F., Klink, A., Veselovac, D., et al. (2014) Turbomachinery component manufacture by application of electrochemical, electro-physical and photonic processes, *CIRP Ann. Manuf. Technol.* 63: 703–726.
- [11] McGeough, J.A. (1988) *Advanced Methods of Machining*, London, New York: Chapman & Hall.
- [12] Bellows, G. (1967) *ECM Machinability Data and Ratings*, Technical Paper, SME, Metcut, Dearborn.
- [13] Kalpakjian, S., Schmid, S.R. (2003) *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, 4th edn. Prentice Hall, New York.
- [14] Baumgärtner, M. (2013) Entwicklung des electrochemischen Senkens (ECM) und der mechanischen Bearbeitung von Titanaluminiden, Abschlussbericht BMBF-Forschungsvorhaben, [http://refhub.elsevier.com/S00078506\(14\)001863/sbref0105](http://refhub.elsevier.com/S00078506(14)001863/sbref0105) (accessed April 19, 2015).
- [15] El-Hofy, H. (1995), Machinability indices for some non-conventional machining processes, *Alexandria Eng. J.*, 34(3): 231–245.
- [16] EMAG's ECM/PECM Machines (2013) http://www.online-amd.com/Article.aspx?article_id=132602 (accessed April 22, 2015).
- [17] Platz, A., Feiling, N. (2013) *Precise Electrochemical Machining of Nickel Base Integrated Blade Compressor Rotors*, Precision and Microproduction Engineering Vol.7, Fraunhofer IWU, Chemnitz, pp. 23–32.
- [18] ECM/PECM Technologie Polieren (2011) Entgraten, 3D-Konturen, EMAG ECM.
- [19] MM (2010) Verfahren zur Reduzierung von Chrom(VI) bei der ECM-Bearbeitung, <http://www.maschinenmarkt.vogel.de> (accessed April 19, 2015).
- [20] Steffens, K., Platz, A., Buckl, F. (2004) Feinbearbeitungsverfahren – Schlüsseltechnologien für moderne Luftfahrtverdichter. MTU Aero-Engines, www.mtu.de (accessed April 19, 2015).
- [21] ECM (2014) Leistritz Turbo-maschinen Technik, www.leistritz.com (accessed April 19, 2015).
- [22] Burger, M., Platz, A., Werner, E. (2007) Herstellung/Nachbearbeitung von Turbinenblisks durch Präzisions Elektrochemisches Bearbeiten, TUM, <http://www.wkm.mw.tum.de/forschung/postergalerie/> (accessed April 19, 2015).
- [23] GKN Aerospace Capabilities (2010) www.gknaerospace.com (accessed April 19, 2015).
- [24] Giese, C. (2005) Verfahrensvergleich EDM/ECM im industriellen Umfeld – Anwendungsgebiete dungsgebiete von ECM, Fachtagung Funkenerosion, RWTH Aachen.
- [25] Dilba, D. (2012) Höchste Präzision. Report MTU Aero Engines, www.mtu.de (accessed April 19, 2015).
- [26] Innovative Technologies for Future Alloys (2013) http://www.turbintech.com/files/alloy_folder.pdf (accessed April 19, 2015).
- [27] Thümmel, T. (2008) Herstellung von komplexen Kühlluftbohrungen in Hoch-druckturbinenschaufeln, MTU Aero Engines.
- [28] Electrochemical Machining (2013) <http://www.koepfern-international.com> (accessed April 22, 2015).
- [29] Elektrochemisches Abtragen (2009) Verein Deutscher Ingenieure VDI-Richtlinie 3401-1(Entwurf).
- [30] Visser, A., Junker, M., Weissinger, D. (1994) *Sprühätzen metallischer Werkstoffe*, 1st edn, Eugen G. Leuze Verlag, Bad Saulgau.
- [31] Fleischer, J. (2011) Erodierbohren – Neue Wege und Anwendungsbeispiele. Fachtagung Funkenerosion WZL RWTH Aachen University, Aachen.
- [32] Antar, M.T., Soo S.L., Aspinwall, D.K. et al. (2010) WEDM of aerospace alloys using ‘clean cut’ generator technology. *Proceedings of the 16th International Symposium on Electromachining (ISEM XVI), Shanghai, China, April 19–23*, pp. 285–290.
- [33] D’Amario, R. (2008) Method and apparatus for generating machining pulses for electrical discharge machining. European Patent EP 1719570.
- [34] Han, F., Wachi, S., Kunieda, M. (2004) Improvement of machining characteristics of micro-EDM using transistor-type isopulse generator and servo feed. *Precision Engineering* 28: 378–385.
- [35] Winbro Group Technologies (2014) Series 800 Laser & EDM Datasheet.
- [36] NCMT (2013) Deep-Hole EDM Drilling of Turbine Components is Seven Times Faster, <http://www.ncmt.co.uk> (accessed April 19, 2015).
- [37] Paul, M.A. and Aspinwall, D.K. (1998) Arc sawing performance evaluation and machine design. *Proceedings of the 12th International Symposium on Electro-machining (ISEM XII), Aachen, Germany, May 11–13*, pp. 407–416.
- [38] Rahman, M.M., Khan, M.A.R., Kadirgam, K. et al. (2011) Experimental investigation into EDM of stainless steel 304. *Journal of Applied Sciences* 11(3): 549–554.
- [39] Field, M. (1966) The surface effects produced in nonconventional metal removal- comparison with conventional techniques, *Met. Eng. Q.* 6 p 32–45.
- [40] El-Hofy, H.A. (2013) *Fundamentals of Machining Processes – Conventional and Nonconventional Processes*, 2nd edn, CRC Press.

- [41] Visser, A. (1966) Werkstoffabtrag mittels Elektronenstrahl. Dr.-Ing. Dissertation. TH Braunschweig.
- [42] Beck, T. (2011) Laser drilling in gas turbine blades: Shaping of holes in ceramic and metallic coatings. *LaserTech. J.* 3:40–43.
- [43] Horn, A., Weichenhain, R., Albrecht, S. *et al.* (2000) Microholes in zirconia coated Ni-superalloys for transpiration cooling of turbine blades. *Proceedings of the SPIE 4065, High-Power Laser Ablation III*, p. 218.
- [44] Saunders, R.J. (1984) *Laser Metalworking, Metal Progress*, p. 51.
- [45] Majumdar, J.D. (2012) *Laser Assisted-Fabrication of Materials*, Springer, Berlin.
- [46] Poprawe, R. (2005) *Lasertechnik für die Fertigungsgrundlagen, Perspektiven und Beispiele für den innovativen Ingenieur*, Springer, Berlin.
- [47] Leigh, S., Sezer, K., Li, L. *et al.* (2010) Recast and oxide formation in laser-drilled acute holes in CMSX-4 nickel single-crystal. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture* 224: 1005–1016.
- [48] Holden, S. (1985) The plasma cutting of SS, *SS Industry* 13(74): 13.
- [49] Bagley, J.A. (1969) *Plasma Arc Cutting, Technical paper MR69-578*, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, MI, p. 23.
- [50] Klocke F, Zeis M, Klink A, Veselovac D (2013) Technological and economical comparison of roughing strategies via milling, sinking-EDM, wire-EDM and ECM for titanium- and nickel-based blanks. *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.* 6(3):198–203.
- [51] Sharma, S., Jain, V. K., Shekhar, R. (2002) Electrochemical drilling of inconel super alloy with acidified sodium chloride electrolyte *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 19:492–500. Fleischer, J. (2011) Erodierbohren - Neue Wege und Anwendungsbeispiele. Fachbereich Funkenerosion WZL RWTH Aachen University, Aachen.
- [31] Antar, M.T., Soo S.L., Aspinwall, D.K. *et al.* (2010) WEDM of aerospace alloys using ‘clean cut’ generator technology. *Proceedings of the 16th International Symposium on Electromachining (ISEM XVI), Shanghai, China, April 19 -23*, pp. 285-290.
- [32] D’Amario, R. (2008) Method and apparatus for generating machining pulses for electrical discharge machining. European Patent EP 1719570.
- [33] Han, F., Wachi, S., Kunieda, M. (2004) Improvement of machining characteristics of micro-EDM using triangular pulse generator and servo feed. *Precision Engineering* 28: 378-385.
- [34] Winbro Group Technologies (2014) Series 800 Laser & EDM Datasheet.
- [35] NCMT (2013) Deep-Hole EDM Drilling of Turbine Components is Seven Times Faster, <http://www.ncmt.co.uk> (accessed April 19, 2015).
- [36] Paul, M.A. and Aspinwall, D.K. (1998) Arc sawing performance evaluation and machine design. *Proceedings of the 12th International Symposium on Electro-machining (ISEM XII), Aachen, Germany, May 11-13*, pp. 407-416.
- [37] Rahman, M.M., Khan, M.A.R., Kadirgam, K. *et al.* (2011) Experimental investigation into EDM of Stainless Steel 304. *Journal of Applied Sciences* 11(3): 549-554.
- [38] Field, M. (1966) The surface effects produced in nonconventional metal removal- comparison with conventional techniques, *Met. Eng. Q.* 6 p 32-45.
- [39] El-Hofy, H.A. (2013) *Fundamentals of Machining Processes - Conventional and Nonconventional Processes*, 2nd edn, CRC Press.
- [40] Vißber, A. (1966) Werkstoffabtrag mittels Elektronenstrahl. Dr.-Ing. Dissertation. TH Braunschweig.
- [41] Beck, T. (2011) Laser drilling in gas turbine blades: Shaping of holes in ceramic and metallic coatings. *Laser Tech. J.* 3:40-43.
- [42] Horn, A., Weichenhain, R., Albrecht, S. *et al.* (2000) Microholes in zirconia coated Ni-superalloys for transpiration cooling of turbine blades. *Proceedings of the SPIE 4065, High-Power Laser Ablation III*, p. 218.
- [43] Saunders, R.J. (1984) *Laser Metalworking, Metal Progress*, p. 51.
- [44] Majumdar, J.D. (2012) *Laser Assisted-Fabrication of Materials*, Springer, Berlin.
- [45] Poprawe, R. (2005) *Lasertechnik für die Fertigungsgrundlagen, Perspektiven und Beispiele für den innovativen Ingenieur*, Springer, Berlin.
- [46] Leigh, S., Sezer, K., Li, L. *et al.* (2010) Recast and oxide formation in laser-drilled acute holes in CMSX-4 nickel single-crystal. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture* 224: 1005-1016.
- [47] Holden, S. (1985) The plasma cutting of SS, *SS Industry* 13(74): 13.
- [48] Bagley, J.A. (1969) *Plasma Arc Cutting, Technical paper MR69-578*, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, MI, p. 23.
- [49] Klocke F, Zeis M, Klink A, Veselovac D (2013) Technological and economical comparison of roughing strategies via milling, sinking-EDM, wire-EDM and ECM for titanium- and nickel-based blanks. *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.* 6(3):198-203.
- [50] Sharma, S., Jain, V. K., Shekhar, R. (2002) Electrochemical drilling of Inconel super alloy with acidified sodium chloride electrolyte *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 19:492-500.

9

Тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеуге қатысты ағымдағы және кейінгі, заманауи осы механикалық өңдеу саласындағы жетістіктері

9.1 Жалпы ережелер

Соңғы екі онжылдықта қиын өңделетін материалдардың өңдеуіне байланысты мәселелерді жарықтандыру үшін көптеген зерттеу жұмыстары қабылданды. Олар тот баспайтын болат пен ыстыққа төзімді қорытпаларды дәстүрлі өңдеуге бағытталған. Осы зерттеу жұмыстарының негізгі мақсаты 4-тарауда қарастырылған көптеген стратегиялардың көмегімен өңдеу өнімділігін арттыру болды:

* 2-тарауда бұрын талқыланған тот баспайтын болаттардың еркін өңделетін және жақсартылған нұсқаларын қабылдау.

* Термиялық өңдеуді (ТӨ) немесе ыстық өңдеуді жүзеге асыру, қиын өңделетін материалдар жоғары температураларда оңай өңделуі мүмкін, бұл кесу күшін төмендетеді және құралдың қызмет ету мерзімін арттырады. Термиялық өңдеудің көптеген қолданулары токарлық және фрезерлік өңдеуде кездеседі. Пропан жанарғылары, оксиацетилен жанарғылары, плазмалық арқалықтар мен индукциялық катушкалар табыстың әртүрлі дәрежесімен сыналды, олардың көпшілігі қыздыруды реттеумен шектелген. Бұл жұмыстың негізгі кемшілігі температураның біркелкі таралуы қолдау және бақылау қиын болуы мүмкін; демек, жұмыстың бастапқы микроқұрылымы термиялық әсер ету аймағына (ТӘА) әкелетін қолайсыз әсерге ұшырауы мүмкін. 1970-ші лазерлер соңында өте дәл аймаққа шоғырланған қарқынды жылуды қамтамасыз ете алатын өміршең жылу көзі ретінде пайда болды. 1978 Басс және басқалары ыстық нүктелерді 1,4 кВт-СО₂ лазерін пайдалана отырып, НС және Юдимет 700 өңдеу үшін лазерлік өңдеудің орындылығын көрсетті [1]. Сол уақытта процесті моделдеу жүргізілген жоқ, бұл процесс барысында қол жеткізілген температуралар туралы аз ақпарат береді. Кесу жылдамдығы мен лазерлік қыздыру арасындағы үйлестіруді оңтайландыру қажет екендігі атап өтілді. Сонымен қатар, металды қыздыру кезінде оның шағылысу қабілеті нәтижесінде кейбір проблемалар туындады.

Тот баспайтын болат пен ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу: Дәстүрлі және дәстүрлі емес әдістер, бірінші басылым.
ХельмиА.Юсеф.

© 2016 John Wiley & Sons, Ltd. 2016 John Wiley & Sons, Ltd жарияланды.

* Жоғары жылдамдықта өңдеу (ЖЖӨ) технологиясын қолдану, ол жоғары жақын арада жұмыс істейтін алдыңғы қатарлы құрал-сайман материалдары мен қуатты станоктарды қолдануды талап етеді. Бұл қиын өңделетін материалдарды, соның ішінде тот баспайтын болат пен суперқорытпаларды өңдеу кезінде өнімділікті арттыруға ықпал етеді. Зерттеуде арнайы назар айнмалы, олар құрал-сайманның қызмет ету мерзімі, құрал материалы, майлау-суыту сұйықтықтары және ЖЖӨ кезінде технологиялық параметрлер сияқты тоттанбайтын және суперқорытпалардың механикалық қабілетіне тікелей әсер етеді.

Криогендік суыту алдын-ала суыту әдістерін қолдану, майлаудың минималды мөлшері (МММ), және жоғары қысымды суыту (ЖҚС) қызметті механикалық өңдеуге ұшыратып ұсыну жақсарту үшін.

* Ультрадыбыстық өңдеу (УДӨ) қолдану өңдеуін айтарлықтай жақсартады

9.2 Тот баспайтын болаттарды дәстүрлі механикалық өңдеуге байланысты соңғы зерттеулер

Ағымдағы зерттеу жұмыстары [1-6] P550 аустениттік типтері, АИЖС 303, АИЖС 304, АИЖС 316 және мартенситтік тетет сияқты басым өнеркәсіптік қолданылуы бар кейбір НС түрлері мен санаттарын өңдеуге бағытталды.

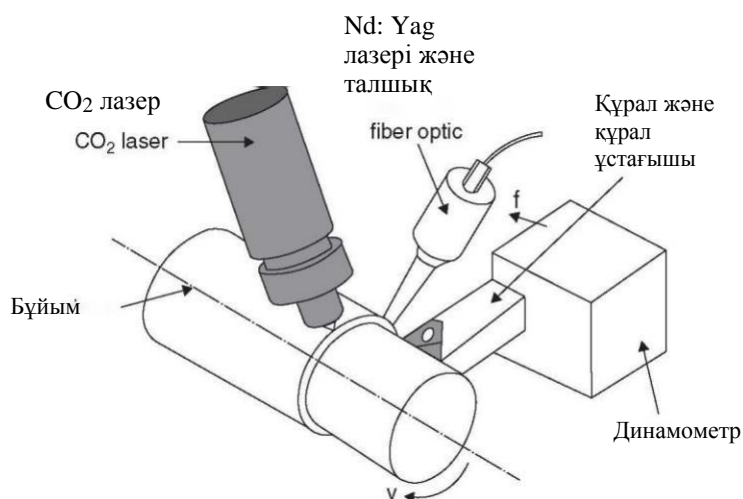
Чандрасекаран мен Джонсон кесу жылдамдығы 75 м/мин-ден төмен және беру жылдамдығы 0,08-ден 0,3 мм/об-ге дейін жұмыс істейтін қатты балқытпа құралдарын (P30) пайдалана отырып, беріктігі жоғары төрт аустеит тот баспайтын болат (АТБИ 316 LN және ұқсас балқытпалар) өңделуін зерттеді. Құралдар кесіктің тез бұзылуын көрсетті, жиі қатты жиекпен (BUE). Кесудің сыни басталуы көлденең кернеу, температураның таралуы және өңделетін материалмен химиялық өзара әрекеттесуі сияқты кейбір факторларға байланысты. Осы N-нығайтылған аустениттерді өңдеу кезінде хабарланған кесудің жоғары күші мен елеулі деформациялық беріктендіру LAM-ді осындай балқытпаларды өңдеу үшін балама кандидат етеді.

Ni, P550 жоқ, N жоғары құрамы бар марганец-аустениттік болат кәдімгі тот баспайтын болаттан қарағанда ағымдылық шегі әлдеқайда жоғары, ал олардың жоғары коррозиялық төзімділігі мен жоғары беріктігі оларды әсіресе медициналық, аэрокосмикалық және мұнай өндіру өнеркәсібінде тартымды етеді. Жоғары беріктігі, сондай-ақ бұл болатты кесу жоғары күш салдарынан ою қиын етеді, және құралдың салыстырмалы аз тұрақтылығы. Андерсон мен Шин [3] осы тот баспайтын болаттарды дәстүрлі өңдеудің экономикалық баламасы ретінде ЛТӨ зерттеді. P550 тот баспайтын болаттардың негізгі элементтері 9.1-кестеде келтірілген. Азот пен марганец аустениттік фазаны тұрақтандырады. Mn темірдегі N ерігіштігін жоғарылатса да, Cr феррит түзілуіне ықпал етеді; сонымен қатар, коррозияға және тотығуға төзімділігі үшін сыни элемент болып табылады.

Токарлық сынақтар қуаты 45 кВт токарлық-револьверлік станокта жүргізілді. ЛТӨ үшін-кесу құралымен бірге жүретін екі лазерлік сәуле. 0,5 кВт-Nd лазері: YAG өңделген фасканы құралдың алдында 10-12 ° шеңберге сәулелейді. Nd: YAG лазерге қол жеткізу температурасын шектеудің салдарынан, кесу құралының алдында 55° орналасқан CO₂ лазерді пайдалана отырып, қосымша қыздыру үшін екінші лазер және өңделмеген жұмыстық сәулелендіру құралы пайдаланылды (сурет. 9.1) [3], күш туралы деректер KiOPleg динамометрі мен күшейткішін пайдаланып жиналған, ал labView бағдарламасы күш сигналдарын өңдеу және жазу үшін қолданылған. Температураны өлшеу FLIR SC 3000 ИК-камерасының көмегімен жүргізілді.

Кесте 9.1 Химиялық құрамы (мас.%) Mn-Cr, P550 арнайы жоғары азоталы аустениттік тот баспайтын болат

Ni	C	Mn	Cr	Mo	N
макс. 1.5	макс. 0.06	19-20.5	17.5-19	макс. 0.45	0,5-0,6



Сурет 9.1 Екі лазерді пайдалана отырып ЛТӨ үшін эксперименттік қондырғы, CO₂ және Nd: YAG. (Андерсон мен шиннен [3].)

Кесте 9.2 Аустенитті mn-Cr N с P550 өндеуге арналған құрал-сайманның аспаптық материалдары және геометриясы [3]

Құрал түрі	Алдыңғы бұрышы (°)	Бүйірлік бұрышы (°)	Кесу Көлбеу бұрышы(°)	Төбенің дөңгелектеу радиусы (мм)	Артқы бұрышы (°)
Жабыны бар					
Карбид	5	15	0	0,8	7
Металлокерамика	5	15	0	0,8	7
Жабыны жоқ	5	15	0	0,8	11
Керамика	5	15	0	0,8	11

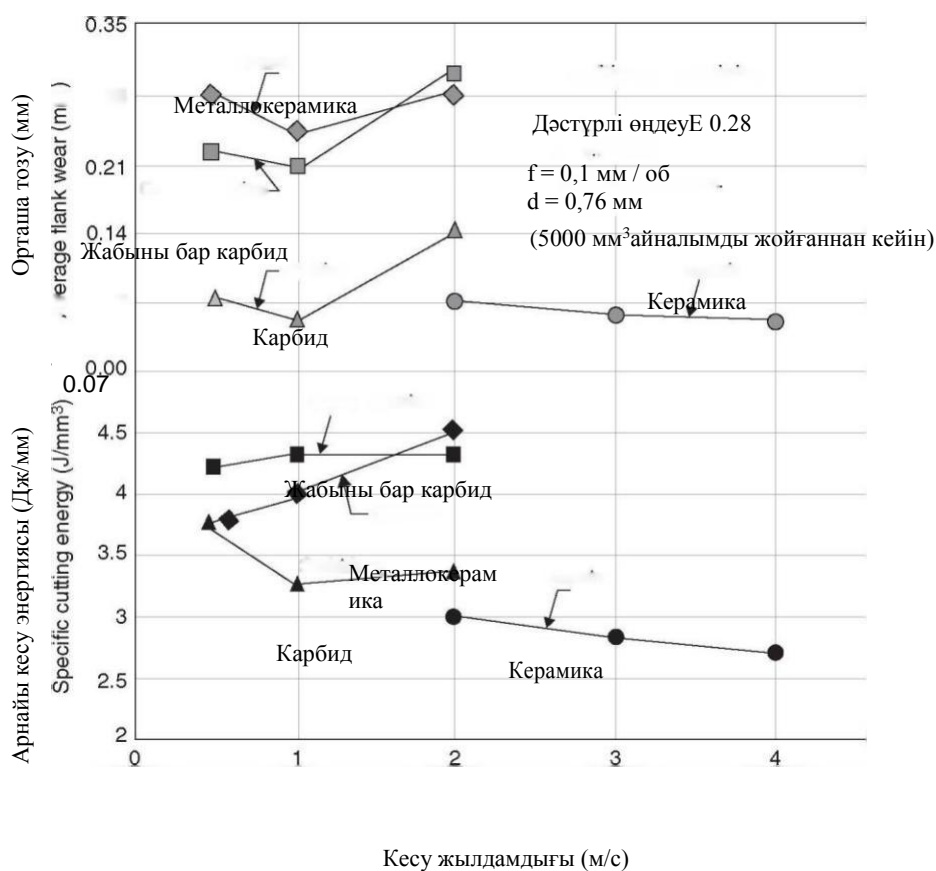
Төрт түрлі аспаптық кірістірмелер (9.2 кесте) аустенитті P550 өндеуге арналған құралдың оңтайлы материалын анықтау үшін зерттелді. Геометрия өте ұқсас, карбид пен керамиканың жабыны

жоқ саңылауы 11° құрайды, карбид пен кермет үшін жабыны бар 7° салыстырғанда. Керамикалық ендірімелер карбидокремний вискерлерімен күшейтілген [3].

Беру жылдамдығы мен кесу тереңдігі 0,1 мм/об және 0,76 мм кезінде бүкіл сынақ бойы тұрақты ұстап тұрды, ал кесу жылдамдығы дәстүрлі өңдеу үшін 0,5-тен 4 м/с-қа дейін өзгерді (жабыны бар және жабыны жоқ карбидтер үшін 0,5-2 м/с және керамикалық құралдар үшін 2-4 м/с). 9.2 суретте кесудің үлестік энергиясы және дәстүрлі өңдеу кезінде фланецтің орташа тозуы көрсетілген.

ЛТӨ жағдайында, КК-Вискер-күшейтілген керамика тек СҚО-ости 2-4 м/с қатарына қолданылған. Дәстүрлі өңдеу кезінде үлкен саңылауы бар құрал-саймандық ендірімелер басқа құрал-саймандардың фланецінің кем дегенде 50% тозуын көрсетеді. Тіпті кесудің жоғары жылдамдығы кезінде (ЛТӨ, 2-4 м/с) керамикалық пластиналар жоғары температура кезінде құрал материалының жоғары қаттылығы салдарынан бүйірінің ең аз тозуын көрсетеді. Керамика пайдаланылатын ЛТӨ-да, үлестік кесу энергиясы карбидтерді және металл қыш ендірімелерді пайдалана отырып, дәстүрлі өңдеуге қарағанда, ЛТӨ - да қолданылатын жоғары кесу жылдамдығы және керамика үйкеліс коэффициенті төмен [3].

Керамикалық құралдар аустениттік тот баспайтын болаттарды өңдеу үшін жиі жарамсыз деп саналды, өйткені олардың икемділігі мен тұтқырлығы өңдеу кезінде жабысқақ табиғат жасайды.



Сурет 9.2 Кесу жылдамдығына байланысты әртүрлі аспаптық материалдарды пайдалана отырып, аустенитті SP 550 дәстүрлі өңдеу кезінде фланецтің үлестік энергиясы және орташа тозуы. (Андерсон

P550 үшін дәстүрлі ЖЖӨ кезінде керамикалық ендірімелерді пайдалану кезінде кедір-бұдырлығы (Ra мәні) 17 000 мм³ материалды алып тастағаннан кейін де барлық сынақтар бойы 1 мкм төмен қалды. Кедір-бұдыр өңдеу уақыты бойы тұрақты немесе аз қалды. Керамиканы пайдалану кезінде кесудің үлестік энергиясы жылдамдықтың ұлғаюымен біршама азайды (сурет. 9.2). Олардың бақылаулары бойынша [3] құрал-сайманның негізгі тозуы құрал-сайманның негізгі қапталына және алдыңғы қырына шоғырланған. Бастапқы бүйір бетінің орташа тозуы қашықтағы материалдың көлемі = 5000 мм³ үшін 0,6 мм-ден 0,9 мм-ге дейін қашықтағы материалдың көлемі = 20 000 мм³ үшін материалды алып тастағанда үнемі ұлғайған. Жоғары кесу жылдамдығы, керамикамен рұқсат етілген, мүмкін, ол құралдың сынуына және дайындаманың бетінің сапасының нашарлауына BLU жауапты болуы мүмкін.

ЛТӨ кезінде дайындаманың оңтайлы температурасына жету қажет болды. Тым жоғары температура кесу құралының мерзімінен бұрын тозуына әкелуі және дайындаманың зақымдануына әкелуі мүмкін, ал тым төмен температура ЛТӨ-ден барынша пайда алуға мүмкіндік бермейді.

ЛТӨ кезінде температураны болжау үшін пайдаланылатын екі көзді өтпелі жылу моделі ұсынылды, демек, лазердің қуаты өңдеудің оңтайлы шарттарын іске асыру үшін бақыланады. ЛТӨ үшін 3 м/с кесу жылдамдығы ұсынылды [3]. 9.3 суретте 5000 мм³ материалды алып тастағанда анықталған сусымалы материалдың әр түрлі орташа температурасы кезінде кесудің үлестік энергиясы көрсетілген. Меншікті энергия бөлме температурасында (дәстүрлі өңдеу) 3 Дж/мм³ және ЛТӨ кезінде 425°C көлемді температурада 2,4 Дж / мм³ мәндеріне қол жеткізе отырып, көлемде температураның ұлғаюымен біртіндеп азаяды. Сондықтан р550 станогының өңделуі (салыстырмалы кесу энергиясына сүйене отырып) ЛТӨ пайдалана отырып, дәстүрлі өңдеумен салыстырғанда 20% - дан астам жақсарды.

ЛТӨ механикалық өңдеуге арналған барлық дәстүрлі сынақтар мен сынақтар барысында вискермен арматураланған керамикалық құралдарды пайдалана отырып, беттің кедір-бұдырлығы (Ra мәні) 0,75 кв төмен болған. Тиісінше, дәстүрлі механикалық өңдеуден және ЛТӨ-дан өткен дайындамалардың қаттылығының мәні сол үрдісті көрсетті. Негізгі материалдың орташа қаттылығы 43 HRC құрады. Қаттылықтың шамалы төмендеуі жер бетінен 75-100 мкм тереңдікке байқалды. Лазерлерді одан әрі жетілдіру тот баспайтын болаттан жасалған ЛТӨ үшін болашақ пайда әлеуетін қамтамасыз етеді [3].

АТБИ 316L дәнекерленетін аустениттік тот баспайтын болатты дәлдеу кезінде майлау-суыту сұйықтықтарын қолдану режимдері Leppert компаниясымен зерттелді. Бұл жұмыста сынау құрғақ (D), MQL және эмульсиямен (E) жүргізу жоспарланған. MTL (Accu-Lube LB8000 майынан жасалған аэрозоль, кинематикалық тұтқырлығы = 37 мм² / с 40 ° C кезінде) аппликатор MinibooEOer II (Accu-Lube Manufacturing GmbH) көмегімен жасалды.



Сурет 9.3 Аустенитті ТБ Р550 өңдеуге арналған керамикалық құралдарды пайдалана отырып өңдеудің әр түрлі температуралары кезіндегі үлестік энергия.

Кесте 9.3 Липперт бойынша сынау шарттары [5]

Бұйым	Материал: АТБИ 316L (аустенитті тот баспайтын болат) диаметрі: 60 мм
Құрал	Құрал ұстаушысы : МТББ 2525-12-ЕВ (Mircona АВ) Қатты балкитын кірістіру : SNMG 120408-TF, класс IC 907
Құрал геометриясы	PVD жабын: TiAlN (Iscar Ltd) Алдыңғы бұрыш = 5°, артқы бұрыш = 10° Кесу жиегінің бұрышы = 45°, кесу бұрышы = 0°
Кесу параметрлері	Төбенің дөңгелектеу радиусы = 0,8 мм Кесу жылдамдығы : 82, 164, 255 м/мин. Беру жылдамдығы : 0.08, 0.27, 0.47 мм/об Кесу тереңдігі : 0.5, 1, 2 мм

Содан кейін ол кесу жиегіне аспапты ұстағышқа орнатылған екі тесік тесіктермен және тырманың алдыңғы бетіне бағытталған диаметрі 0,8 мм екі шүмектермен, жылдамдығы 30 м/с болатын басты және қосалқы флангаларға (дыбыс жылдамдығына жақын) беріледі.

Майдың үш шығыны, атап айтқанда 10, 20 және 50 мл/сағ. 6% (көлем.) эмульсияны artesol Super EPY эмульгирлеуші майымен дайындалған, оны кесу аймағына беріліп, оның шығыны 4 л / мин.

Дайындаманы (диаметрі 60 мм, ұзындығы 300 мм) кесуге әрбір сынау үшін ұзындығы 15 мм арықтармен сегменттеді. Шыбықтар бетінің ұқсас қасиеттерін қамтамасыз ету үшін 1 мм тереңдігімен алдын ала өңделді. Құрал бу фазасынан (PVD)-TiAlN кірістіру жабыны бар физикалық тұндыру болды.

Сынаудың әрбір жинағы құралдың тозуының әсерін минимизациялауға арналған жаңа кескіш жиекті пайдалану арқылы жүргізілді.

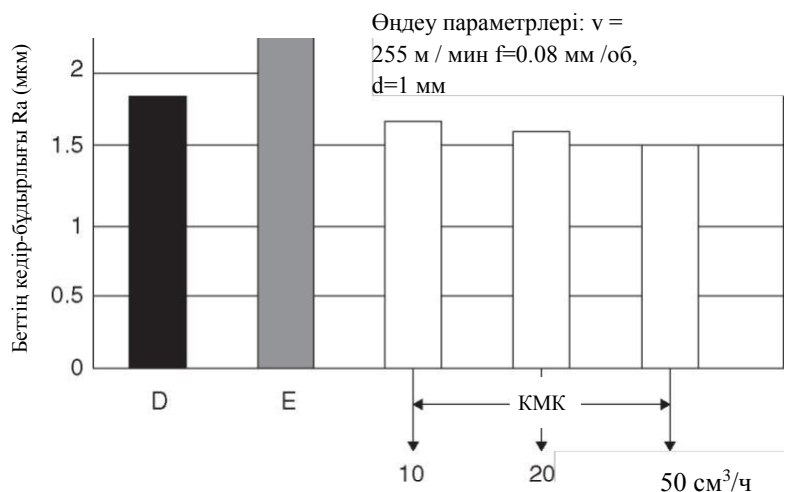
Сынау шарттары 9.3-кестеде келтірілген. Бұл сынақтар ЖЖӨ деп саналады, олар жоғары тиімді карбидті жабыны бар қондырғыларды пайдалана отырып, 255 м/мин дейінгі жылдамдықпен жүргізіледі.

Оның сигналы Дино-бағдарламалық қамтамасыз етілген компьютерден және 5017 Б күшейткіш Кистлерінен жіберілді. Беттік параметрлері Hommel-T2000 тестерінде өлшенді, ал беттік топографиясы лазерлік сканерлейтін электронды микроскоп (LSEM).

Лепперт [5] беру жылдамдығы да, кесу тереңдігі да кесу күшіне барынша әсер еткенін хабарлады. Бірақ кесу жылдамдығы кесу күшіне шектеулі әсер етті, бұл аустенитті тот баспайтын болаттарды өңдеу кезінде деформациялық беріктендірудің жоғары әсерімен түсіндіруге болады [6, 7]. Сондай-ақ, егер беру 0,08-ден 0,47 мм/Об-ға дейін ұлғайған болса, беру жылдамдығы 2-ден 8 мкм-ге (Ra-мән) дейін ұлғайған беттің кедір-бұдырлығына айтарлықтай әсер еткендігі көрсетілді, бұл эталондарды механикалық өңдеу кезінде күтілетін нәтижелермен толық келісіледі.

Сол сияқты, кесу тереңдігінің ұлғаюы беттің кедір-бұдырлығын ұлғайтады. Бұл жоңқаның көлденең қимасының ұлғаюымен байланысты болуы мүмкін және, демек, кесу күші, бұл машина-құрал-дайындау жүйесінің динамикалық тұрақтылығына әсер етуі мүмкін. Екінші жағынан, кесу жылдамдығы зерттелетін диапазондағы беттің кедір-бұдырлығына айтарлықтай әсер етпеді [5].

Жұмыста [5] майлау-суыту сұйықтығын қолдану режимдерінің кесу күшіне және беттің кедір-бұдырлығына әсері зерттелді. Майлау режимдеріне (E, D және MQL) байланысты кесу күші мәндерінің елеулі өзгерістері байқалмайды. 9.4 суретте әр түрлі майлау режимдері үшін 1,5-ден 2,2 км-ге дейінгі диапазонда бетінің кедір-бұдырлығы (Ra мәні) көрсетілген. MTL-да mas-ла 10-дан 50 мл/сағ дейін жеткізу жылдамдығын арттыру бет кедір-бұдырлығына елеулі әсер еткен жоқ. Алайда, майлау режимдерінің бетінің кедір-бұдырлығына және кесу күшіне әсер етуіне қатысты оның нәтижелері мүлдем күтпегендей болды.



Майлау-суыту сұйықтығын қолдану режимдері

Сурет 9.4 ЖТҚ 316L бетінің кедір-бұдырлығына майлау-суыту сұйықтықтарын жағу режимдерінің әсері. (Лепперттен [5].)

Текинер мен Есилорт [8] жоғары жылдамдықты АТБИ 304 аустениттік тот баспайтын болат нүктесінде СХУ Р10 қатты балқитын ұштарын пайдалана отырып, жұмыстың оңтайлы шарттарын зерттеді. Механикалық өңдеу ЧПУ токарлық станогында орындалған және жұмыс үлгілері диаметрі 30 мм және ұзындығы 200 мм шыбықтар болды. Өңдеу құрғақ әдіспен жүргізілді, бұл ретте әрбір сынақ үшін жаңа кескіш жиек қолданылды. Барлық сынақтар үшін 2,5 мм тұрақты тереңдігі қолданылды.

Өңдеу процесінің дыбыстық талдауы кесуші жиекте және жеке компьютермен дыбыс көзі арасында ауыстырып қосылатын сезімтал микрофон мен күшейткіштен тұратын қондырғының көмегімен жазылған. Егер машина бос жүрісте жұмыс істесе (кесусіз), дыбыс қысымының жалпы деңгейі ең төмен мәнге жетті. Кесу кезінде дыбыс деңгейі кесу параметрлеріне байланысты өзгереді. Дыбыс қысымының деңгейі кесу жылдамдығының 165 м/мин мәніне дейін ұлғаяды қарай төмендегені анықталды, онда ол ең аз мәнге жетеді, содан кейін кесу жылдамдығы 180 м/мин дейін ұлғайған кезде ол қайтадан ұлғаяды. Сигнал беру жылдамдығы дыбыстық сигналға әсер етті, сондықтан ол 0,20, 0,25 мм/об беру жылдамдығы кезінде тұрақты немесе одан аз болса да, ол 0,3 мм/об беру жылдамдығы кезінде айтарлықтай өсті. Бұл зерттеулердің нәтижесі жұмыстың оңтайлы шарттары 165 м/мин кесу жылдамдығы мен 0,25 мм/об беру жылдамдығы кезінде іске асырылғаны болды.

Соңында, жоңқаның бұралу радиусы азаяды, ал жоңқаның қалыңдығы кесудің төмен жылдамдығы мен берудің жоғары жылдамдығы кезінде артады. Сонымен қатар, қабаттың жиналуы үшін жауапкершілік кесу жылдамдығының артуымен азаяды және беру жылдамдығының артуымен артады.

200 HV тот баспайтын болатты кесу жылдамдығы 130 м/мм қапталған қатты балқитын құралмен өңдеуде 3500 Н асатын тангенциалды кесу күші Мескитпен және Маркеспен байқалды [9]. Мұндай жоғары кесу күші кесу кезінде сыну/кесу құралын бұзу және үйкеліс шамадан тыс жылу тудырды. Мұндай жағдай беттің зақымдануына әкелуі мүмкін, бұл өңделген бөлшектердің шаршау беріктігін 30% - ға дейін төмендетеді [10], шассиді қолдану кезінде кейіннен зақымдалады, бұл өндірістегі барлық жазатайым оқиғалардың шамамен 37% - ын құрайды [11].

Бұл статистикалық деректер мұрынның тез тозу жылдамдығы елеулі проблема болып табылатын ӨЖЖ мартенсит ТБ шектейді [12].

Jethete қозғалтқышында пайдаланылатын мартенситті ТББ АТБИ 414 механикалық өңдеу жабыны бар қатты балқитын құралдарды пайдалана отырып, джавайд және т.б. зерттелді. [13]. Үш коммерциялық қол жетімді үшбұрыш пішінді (бір PVD - және екі CVD (бу фазасынан химиялық тұндыру) (9.4 кесте) Джавайд және басқалар пайдаланды, мартенситті ТБ АТБИ алмастыру үшін 414. Өңдеу параметрлерінің құралдың беріктігіне және сыналатын пластиналардың бұзылу режиміне әсерін бағалау жүргізілді. Бруск дайындау диаметрі 200 мм және ұзындығы 400 мм. Токарлық өңдеуге

сынағанға дейін материалдың біртекті еместігінің әсерін азайту үшін және осыған байланысты эксперименттік шашырату үшін 6 мм дейін материал алынды. Стержендер бастапқыда жұмысқа қатысты болғандықтан, кірістірудің зақымдануын болдырмау үшін сынақ алдында қиылды. Токарлық өңдеу келесі өңдеу жағдайларында СББ бар жону білдегіндемайлау-суыту сұйықтығынсыз жүргізілді.

* Кесу жылдамдығы: 10 (төмен) 150 (әлсіз) м/мин 200 (жоғары) 250 (қатаң) м / мин

* Беру жылдамдығы: 0.2-0.4 мм / об,

* Кесу тереңдігі: 2 мм.

Джавайд және т.б. сыналған статистикалық регрессия әдісі [13], кесу жылдамдығы мен беру жылдамдығы құралдың өнімділігіне айтарлықтай әсер ететінін көрсетті, сонымен қатар кесу жылдамдығы ең үлкен әсер көрсетеді. T1, T2 және T3 (9.4-кесте) үш қабатты қатты балқитын пластиналарды қолдану арқылы мартенситті Jethete өңдеуде өте төмен тозу жылдамдығы 100 м / мин төмен жылдамдықпен болған кезде орын алды, ал жоғарғы дөңгелектеудің едәуір тозуы 150, 200 және 250 м / мин жылдамдықтың жұмсақ, жоғары және ауыр жағдайларына өңдеу кезінде әртүрлі реттеулердің басым режимі болды (9.5-сурет).

Кесте 9.4 Джавайд және басқаларында қолданылатын кесу құралы үшін кірістірмелер. [13]

Құрал коды	Негіздеме	Басқалары
T1 (CVD)	Дән өлшемі: 1-2 / gm Қаттылық: 92 RA Сынып: P05 / K05-P15 / K15	Жабыны: ti(C,N) (5 rm), Al2O3 (8 rm) мазмұны: 5.9% Текше карбидтері: 8.4% Жылу өткізгіштігі: 90 Вт / м к Жабу әдісі: CVD
T2 (CVD)	Дән өлшемі: 1-8 / gm Қаттылық: 90 RA Сынып: P20/M20-M40/M40	Сынықтың геометриясы: өңдеу құралдары Жабыны: ti (C, N) + Al ₂ O ₃ + TiN (10 rm) мазмұны: 18.0% Текше карбидтері: 8.4% Жылу өткізгіштігі: 95 Вт / м к Жабу әдісі: CVD
T3 (PVD)	Дән өлшемі : 1-3 gm Қаттылық: 93 RA Сынып: P05 - K15, M05-M20	Сынықтың геометриясы: сындыру Қаптамасы: TiN (2 / gm) Тұтқыр мазмұны: 6.0% Текше карбидтері: іздер Жабу әдісі: PVD Сынықтың геометриясы: өңдеу құралдары

Кесу геометриясы: артқы алдыңғы бұрышы -6°, алдыңғы бұрышы -6°, ал бұрышы 95°.

Пластиналарда CVD (T2) және PVD (T3) жабыны бар қосымша бұзылу режимдері болды. Үш қабатты CV (T2) кірістірмелері термомеханикалық жүктемелердің қатаң әсерінің және ірі астық мөлшерінің және Карбид субстратының жоғары Со-құрамының (18% Со) салдарынан құралдың ең нашар түсінігін көрсетті. Ең жақсы көрініс CVD (T1) Қос жабыны бар механикалық өңдеуге ұшырап, және PVD (T3) бір жабынды ендірмелермен жазылған, өйткені субстрат сапасы және TL-кірістірілген глинозем жабынының термиялық тұрақтылығына және PVD-қалайы жабынының жақсартылған микро-қаттылығына байланысты.

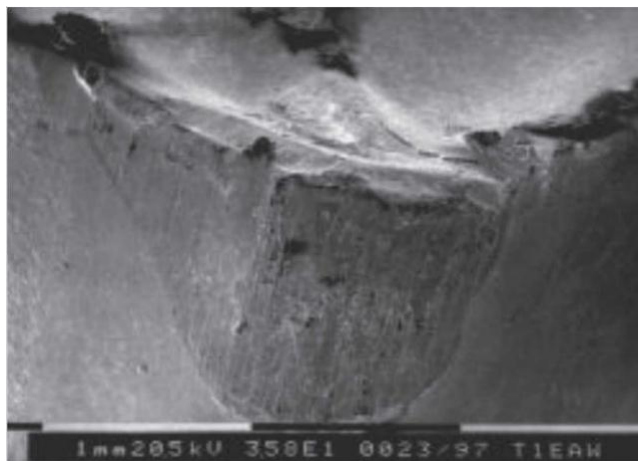
Соңында, джавайд және т.б. [13] тозу үйкеліс кезінде кесудің неғұрлым төмен жылдамдығы кезінде негізгі тетік болып табылатындығын хабарлады, ал абразивті және диффузиялық тозу механизмдері жоғары жылдамдық кезінде бұзылу режимдерін бірлесіп бақылайды.

Лин [14] зерттеген мүмкіндігі жоғары жылдамдықты дәл точения үш түрі аустенитті болат (механикалық өңдеуден АТБИ 303, АТБИ 303 Cu және механикалық туралы әзірлеу АТБИ 304)

пайдалана отырып, керметных ендірмелердің жағдайында құрғақ кесу. Өңдеу 250-ден 450 м / мин-ге дейін жоғары жылдамдықта, беру жылдамдығы 0,02-ден 0,1 мм / об-ге дейін, кесу тереңдігі 0,1 мм-ге дейін жүргізілді. Ең төменгі кедір-бұдырлығы (RA-мәні), ол қол жеткізілуі мүмкін 0.4-0.6 ПМ құрайды. Алайда, 0,02 мм/об және одан аз берудің сыни жылдамдығы кезінде беттің сапасы дрезденудің пайда болуына байланысты кенеттен нашарлайды. Жоғары жылдамдықтар мен берулер кезінде ($V = 450$ м/мин және беру 0,06-0,1 мм/об) беттің сапасы да, құралдың термиялық бұзылуынан нашарлауы мүмкін.

Фернандес-Абиа авторластарымен [15] еркін өңделетін АТБИ 303 аустенитті болаттың жүріс-тұрысын зерттеді, ол автомобиль бөлшектері үшін кеңінен қолданылады, жоғары жылдамдықты нүкте құрғақ күйінде. Кесу жылдамдығының, атап айтқанда, құралдың тозуына, беттің кедір-бұдырлығына, кесу күшінің және жаңқаның морфологиясына әсері зерттелді.

Токарлық сынақтар кесу жылдамдығының кең ауқымында жүргізілді: 37, 75, 150, 300, 450, 600, 750, 845 және 870 м / мин. Беру жылдамдығы мен кесу тереңдігі тиісінше 0,2 мм / об және 1 мм деңгейінде тұрақты. Құрал цементтелген карбид төсенішінде көп қабатты PVD-жабыны ($TiCN$, Al_2O_3 және TiN) болды.



Сурет 9.5 Жоғары жылдамдықпен АТБИ 414 мартенсит ТБ механикалық өңдеуден кейін жабынның қабатталуы және мұрын пластина Т1 бұзылуы. (Джавейдтен және т.б.[13].)

Дайындама диаметрі 60 мм және ұзындығы 180 мм болды. KiEOler 5070 А күшейткішіне бейімделген KiEOler 9121 үш компонентті пьезоэлектрлік динамометр және Dap/2000 PCI деректер жинау ақысы кесу күшінің компоненттерін өлшеу үшін қолданылды.

Олардың бақылаулары бойынша [15] кесудің сыни жылдамдығы 450 м/мин, одан жоғары негізгі кесу күшінің аз мәні есебінен өңдеу жақсартылды, бұл аз энергия тұтынуға және кескіш құралдың аз деформациясына және кернеуіне әкелді. Сонымен қатар, осындай жоғары жылдамдықтағы беттің сапасы жақсарды. Сондай-ақ, жоңқаның қалыңдығы айтарлықтай азайды, бұл жоғары жылжу бұрышын білдіреді, демек, жақсартылған өңдеу. Дегенмен, материалдың бүйірлік ағыны осы сыни жылдамдықтан жоғары өңдеу кезінде бейнеленген. Сонымен қатар, бұл жоғары жылдамдықты диапазонда микроқұрылым аймағының тереңдігі артады.

Каренк және авторластары [16] Taguchi моделі мен жасанды нейрондық желіні пайдалана отырып, АТБИ 316L дәнекерленген аустениттік тот баспайтын болаттан жасалған 300-330 МПа және 170 БҚС қаттылығы бар АТБИ 316L бұрғылау кезінде қылшықтардың түзілуін зерттеді. Бұрғылау кезінде, әсіресе, қылқанның пайда болуы құрастыру міндеттеріне және демек, өндірістік процестердің

автоматтандырылуы мен өнімділігіне әсер ететін ең қиын мәселе болып табылады. Осы ғылыми-зерттеу жұмысының негізгі мақсаты уақыт пен қылшықтарды жою шығындарын қысқарту мақсатында бұрғыштың берілген диаметріне арналған нүктенің бұрышын және беру жылдамдығының оңтайлы үйлесімін анықтау болды. Тезкескіш болаттан жасалған бұрғы (ЖЖБ) АЖ-төмен жылдамдық (8-12 м/мин) және төмен жылдамдық (0,04-0,12 мм/об) кезінде пайдаланылды. Шөлшеу мөлшерін азайту үшін нүктенің аз бұрышы (118°) 8-17 мм диапазонында спиральді бұрғыштың диаметріне сәйкес келеді, ал нүктенің үлкен бұрышы (134°) 17 мм-ден тыс бұрғыштың диаметріне қажет.

Тот баспайтын болат токарды өңдеу кезінде К20 қатты балқитын пластинамен қапталған 100-300 м / мин кесу жылдамдығы кезінде құралдың қызмет ету мерзімі Ханмен және Ахметпен зерттелді [17]. Қарапайым суыту сұйықтығын пайдалану кезінде кесу жылдамдығы 100 м / мин және кесу тереңдігі 1 мм болған кезде құралдың қызмет ету мерзімі 13,5 минутты құрағаны анықталды, ал криогендік суытқанда кесу жағдайында құралдың қызмет ету мерзімі 32 минутты құрады. Қатты балқитын жабынды пластиналарды қырып алу бетінің тек кратердің тозу аймағының соңында ғана, әсіресе криогендік өңдеу жағдайында шөгуі байқалды. Бұл кратер контактісінің соңында жоғары температура градиентімен түсіндіріледі.

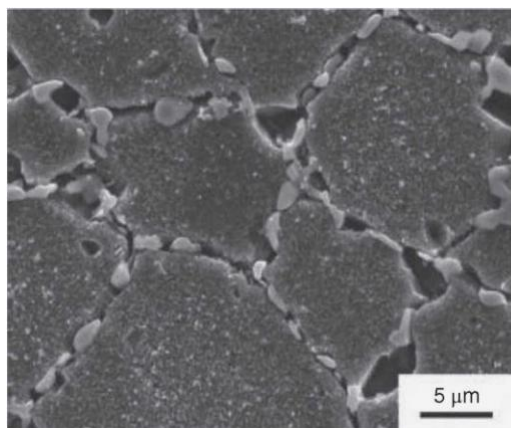
Криогендік суыту үшін қажетті кесу күші құрғақ кесуге қарағанда аз.

Бұл криогендік сұйықтықты қолдану тырма қыры бойынша құрал жоңқасының бетінде үйкеліс коэффициентін төмендетеді. Жоғары жылдамдық беру кезінде жоңқаның қалыңдығы жоғары; жылжу аймағында пластикалық деформация көп жылуды генерациялай отырып, жылдам жүреді. Сондықтан криогендік суыту жоғары жылдамдықта тиімді [18].

9.3 Ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеуге қатысты соңғы ғылыми-зерттеу жұмыстары

Тиісті зерттеулер [19-35] Ti1000, Хейнс, Инконель және т.б. сияқты Ni негізіндегі ыстыққа төзімді пластарға шоғырланған. Газ турбинасының компоненттеріне арналған балқытпаның соңғы әзірлемелері 1050 ° C дейін жұмыс температурасында беріктілік пен тұтастықты сақтауға қабілетті материалдарды алуға мүмкіндік берді.

RR1000 келесі буындағы Ni негізінде ыстыққа төзімді қорытпа бұл философияны көрсетеді деп саналады, бірақ өңдеу есебінен де [19]. RR1000-Ұнтақты металлургия технологиясы бойынша өңделген жаңа аэроғарыштық ыстыққа төзімді қорытпа. Оның қасиеттері термиялық өңдеу арқылы жақсаруы мүмкін. Ол жоғары температураларда жақсы беріктігі мен сырғу кедергісі, сондай-ақ кез келген температураларда жақсы соққы тұтқырлығы бар.



Сурет 9.6 Rr1000 ыстыққа төзімді қорытпаны сканерлейтін электрондық микрофотографиясы (Робо Митчеллмен ұсынылды.)

Бұл қорытпа жоғары температурада жақсы тотығу және коррозияға ие. 9.6-сурет осы балқытпаның сканерлейтін электрондық микрофотографиясын бейнелейді, 750 °C кезінде 5000 сағ термоөңдеуден

кейін фазаның шекарада кең шөгуін көрсетеді. Rg100 Инконель, Уаспалой және Юдимет сияқты дискілік қосымшаларда қолданылады.

RR1000 оның беріктігіне, төмен жылу өткізгіштігіне, абразивтілігіне және, әсіресе, оның беріктікке бейімділігіне байланысты өңдеу қиын. Құрал кесу жасаған кезде беріктендіру жүреді. Өткір, жиі PVD жабыны бар оң кесу бұрыштары оңтайлы болып табылады, өйткені олар бұл құбылысты азайтады. Ні негізіндегі басқа балқытпалармен салыстырғанда (in 718 және Udimet 728 сияқты), RR1000 кесу құралының геометриясына, жабынға және жоғарылығы бойынша қолайлы жағдайларға қол жеткізу үшін өңдеу параметрлеріне аса жоғары сезімталдықты көрсетеді.

Аксинтэ және Эндрюс [20] химиялық құрамы гг1000 никель негізіндегі балқытпада тесік жасау процесін орындады: 52,5% Ni, 15% Cr, 18,5% Co, 5% Mo, 3,5 Ti, 3% Al, 2% Ta, 0,5% Hf, 03% C.

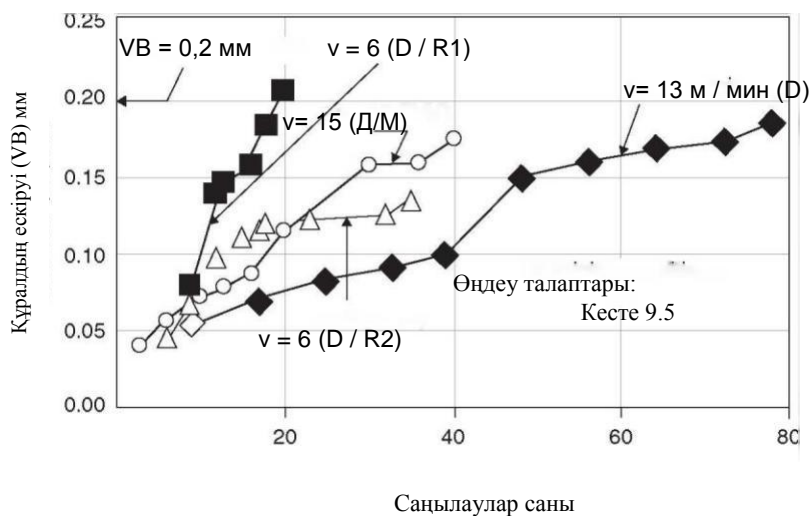
Бұл зерттеуде тесік жасау процесі екі негізгі операциядан тұрды:

1. Қатты балқытын бұрғышты (көлбеу бұрышы 140° , спираль 30°) пайдалана отырып, d бастапқы өңдеу.
2. Аяқтау, үш нұсқасы бар.
 - (a) қатты балқытпаның көмегімен R1 қашау (рельеф 14° және спираль 4°).
 - (b) арнайы қатты балқытын кеңейткіштің көмегімен R2 қашау (1° түсіру және 1° спираль).
 - (c) қатты балқытпа фрезері бар M фрезерлеу.

Тесіктерді кешенді дайындау бойынша жиынтық деректер, сондай-ақ өңдеу шарттары 9.5-кестеде келтірілген. 9.7-суретте өңделген тесіктер санына байланысты құралдың бүйірлік бетінің тозуы ұсынылған, ал бұрғылау және қашау беттің қызып кетуіне (ақ қабаттар) және материалдың сүйретілуіне, жиектің дайындығының өзгеруіне (арнайы ұнғымаларда лақтырудың екі бұрышы немесе баламалы кесу стратегияларын пайдалану) ойма фрезерлеуге алып келеді, беттің рұқсат етілген тұтастығы шегінде дайын тесіктер құра алады. 9.6-кесте тесіктерді жасаудың әртүрлі процестерінен кейін алынған Ra бетінің кедір-бұдырлығын бейнелейді.

Кесте 9.5 Аксинтэ және Эндрюс бойынша интеграцияланған тесік жасау параметрлері [20]

Құрал-саймандар	n (айн/мин)	v (м / мин)	F (мм/мин)
<i>Бастапқы</i>			
D-бұрғылау	686	13	50
<i>Әрлеу</i>			
R1-қалыпты жаю	250	5	38
R2-арнайы жаю	298	6	60
M-фрезерлеу	713	15	43



Сурет 9.7 Rr1000ні негізінде ыстыққа төзімді қорытпаны бұрғылау кезінде тесіктердің санына байланысты құрал фланецінің тозуы. (Аксинт пен Эндрюстен бейімделген [20].)

Аксинт және Эндрюс бойынша rr1000-да тесіктерді жасаудың әртүрлі процестерінен алынған га бетінің кедір-бұдырлығы [20].

Ұңғымалардың пайда болу тәсілі	Қол жеткізілген беті кедір-бұдырлығы, Ra	Қол жеткізілген тесіктер саны
D-бұрғылау	1,1	80
D/P1-қалыпты жаю	0,6	22
D/P2- арнайы тесу	0,2	35
D / M-Фрезерлеу	0,2	40

Суретте көрсетілгендей 9.7, d бұрғылау кезінде құралдың жақсы ресурсына (80 тесік) қол жеткізілсе де, ол беттің сапа өлшеміне сәйкес келмеді ($Ra > 1 \text{ qm}$) (9.6-кесте). Бұл, дегенмен, бұрғылау бастапқы операция екенін жақсы біледі, өйткені күтілуде, және өңделген бетінде rr1000 қызып құбылысына сезімталдығын дәлелдейтін ақ қабат пайдаболғаны таңқаларлық емес. Қалыпты абразивтер (R1) құралдың қолайлы ресурсын (22 тесік) көрсетті (сурет. 9.7) және беттің кедір-бұдырлығы $Ra = 0,6 \text{ qm}$ (9.6-кесте).

Сонымен қатар, ақ қабаттар және едәуір беткейлік сүйреу байқалды. Бұл әдіс (R1) тесіктерді өңдеу үшін жарамды емес, себебі бет сапасының критерийіне сәйкес келмейді. Арнайы бұрау (R2) және плунжерлік фрезерлеу (M), құрал ресурсын орындау мүмкіндігі (35 и 40 тесік), сондай-ақ сапаға қойылатын талаптар көрнекі көрсетілді ($Ra = 0,2 \text{ qm}$) (9.6 кесте).

Ақыр соңында, Аксинт пен Эндрюс [20] Инконель 718 сияқты Ni негізіндегі дәстүрлі балқытпаларға қатысты RR1000 механикалық қабілеттілігінің кішірейтілген жақсы белгісі rr1000 және Инконель 718 бұрғылау кезінде тарту күші мен айналдыру сәтін салыстыру арқылы танылды. Сол жұмыс жағдайында олар Rr1000 бұрғылау кезінде тартқыштың 18% - ға ұлғаюын және Инконель бұрғылау кезінде олардың тиісті мәндерімен салыстырғанда 10% - ға айналдыру сәтін тіркеді.

Осы балқытпаларды Ni RR1000 негізінде бұрғылау кезіндегі эксперименталды деректер [20]зерттеудегідей, алайда 45 м/мин кесу жылдамдығы кезінде бүйірдің тозуы 1800 мм (150 тесік) кесу қашықтығында 100 км кем екендігін көрсетті. Күші 1700 Н құрады. Rr1000 соңғы фрезерленуі бар үлгілердің кедір-бұдырлығы жаңа құралдарды пайдалану кезінде ең аз зақымдалуымен 0,8 шаршы мм Ra-ден кем болды; алайда, тозған құралдарды пайдалану кезінде айтарлықтай жануы / микротірімділік (шамамен 150 НК 0,05) және ақ қабаттың пайда болуы болды [21].

Инконель 718 коммерциялық қол жетімді ыстыққа төзімді қорытпалар арасында өндірістегі ең басым балқытпа ретінде бөлінеді. Оның үлесіне құйылған никель өндірісінің 45% және құйылған никель өндірісінің 25% тиесілі. Оның негізгі қолданылуы авиациялық газ турбиналарында және атом электр станциялары мен медициналық қосымшалар сияқты басқа да қосымшаларда [22]. Алайда, механикалық өңдеуге өте қиын. Бұл қиындық құралдың қысқа өміріне және нашар беттік герметикалыққа рұқсат етеді. Дудзинский және авторластары [23] уату барлық сыналған құралдар үшін тозу механизмі екенін хабарлады. Қалыптасқан тоқырау аймағы бірнеше рет жойылып, бұл күшті кесуге әкелді. Механикалық өңдеу пластикалық деформацияны және жылу бөлуді индукциялайды, өңделетін беттік қабатта металлургиялық түрленулер мен қалдық кернеуді туындатады. Қалдық кернеуді бөлу өңделетін бетке жақын максималды созылатын кернеуді, содан кейін қысу кернеуін көрсетеді. Зақымдалған қабаттың тереңдігі және созылатын және қысатын кернеу кесу жылдамдығының ұлғаюымен артады.

K20 маркасы 20-30 м / мин төмен кесу жылдамдығында Инконель 718 кесу үшін үздік болды. 100 м / мин дейін кесудің жоғары жылдамдығы, PVD (TiAlN) қапталған карбидтер құрғақ жағдайларда ең қолайлы болып шықты, өйткені олар тотығуға жоғары төзімділікті, жоғары температурада химиялық тұрақтылықты, ыстық күйінде жоғары қаттылықты және төмен жылу өткізгіштікті көрсетті. Жылу

тасымалдағышты пайдалану қоршаған орта мен адам денсаулығы үшін жағымсыз, бұдан басқа, ол жоғары қосымша шығындарға әкеп соғады. PVD-карбидтен жасалған жабындар жоғары тозуға төзімді температураларда үйкелгенде төмен. Олар жоғары төзімді материалдарды бұрғылау кезінде жақсы өнімділікті көрсетті.

Кесудің анағұрлым жоғары жылдамдығы (200-ден 700 м/мин дейін) керамикалық құралдармен жетеді. Al_2O_3 -TiC Инконель 718-ге ең химиялық төзімді болып табылады, өйткені ол ЖЖӨ-ге төзімді ең термиялық қарсылық бар. Керамика нашар өткізгіш және термиялық жарықтарға сезімтал, сондықтан ол үшін құрғақ өңдеу ұсынылады [23].

Чоудхури және Эль-Баради [22] құрғақ кесу жағдайында жабынсыз Sandvik жабындысы бар GV3015 пластиналарын және h13a пластиналарын пайдаланып токарлық өңдеу кезінде Инконель 718 өңдеуін зерттеді. Аспап геометриясы: кіру бұрышы 95° , Грабл -6° , көлбеу бұрышы -6° , бас бүйірлік артқы бұрышы 0° .

Жабыны: GC3015 екі қабат, TiC және Al_2O_3 жоғарыдан. Жабынның жалпы қалыңдығы = 10 мкм. Кірістіру 80° ромб тәрізді формада болды. Colchester M1600 токарлық станок қуаты 10 л. с. 1600 айн / мин айналдырғының ең жоғары айналу жылдамдығы және беру диапазоны 0,06 - 1 мм /об. Күш үш компонентті динамометр (KiEÖler, 92625 A1) арқылы өлшенген; күш компоненттері УК-тіркеушімен тіркеледі. Құралдың тозуы Mitutoyo TM300 Toolmakers микроскоптың көмегімен өлшенді.

Чоудхури және Эль-Баради [22] кесу параметрлерінің (жылдамдық, беру және кесу тереңдігі) кесу күші мен құрал ресурсына әсерін зерттеді. Бұл параметрлер оңтайландырылды, онда тозу құрал тұрақтылығының өлшемі болып саналады. Жабусыз және жабумен құрал-сайманды салыстыру Тейлор құралы ресурсының жалпыланған теңдеуін пайдалана отырып жасалған. Әдетте, жабыны бар және жабыны жоқ құралдар үшін құрал ресурсының мәндерінде елеулі айырмашылық байқалмады. Жабыны бар құралдарды қолдану, егер кесу тереңдігі 1,0

мм асқан жағдайда ғана ақталады. Жабылмаған карбидтерді пайдалану кезінде кесудің ұсынылатын жылдамдығы 20-25 м/мин шегінде болуы тиіс, беру 0,15-0,200 мм /об, ал кесу тереңдігі-1,0 мм артық болуы тиіс..

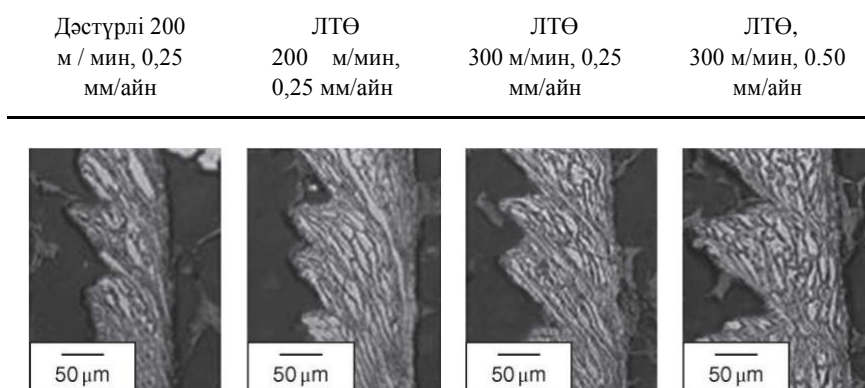
Бушлия және авторластары [24] жабыны бар және бордың поликрубты нитридінен (РБКН) жабыны жоқ құрал-саймандарды пайдалана отырып жоғары жылдамдықты нүкте кезінде Инконель 718 ұсталынған өңделуін зерттеді. Өңдеу құралы кесу күші, ресурсы, құралдың тозуы және өңделген беттің тұтастығы тұрғысынан бағаланды. Олардың нәтижелері көрсеткендей, РБКН жабылған құралдар кесу жылдамдығына өте сезімтал болды, онда құралдың қызмет ету мерзімі 250-ден 350 м/мин-ге дейін жылдамдықпен 250% - ға азайды. РБКН жабыны бар құрал-саймандардың орнына жабыны бар құрал-саймандарды қолдану қысылған кернеу қабатының орнына созылатын кернеудің үстіңгі қабатының пайда болуына әкеледі.

Аттия және т. б. [25] құрғақ жағдайда лазердің көмегімен Инконель 718 жоғары жылдамдықты таза токарлық өңдеуді (i) құралдың қызмет ету мерзімі, беттің тұтастығы және өнімділігі тұрғысынан ЛТӨ процесін оңтайландыру және (ii) қоршаған ортаға әсерді азайту және шығындарды азайту үшін құрғақ ОЖЖ-де SiN (SiAlON) керамикалық құралдарын пайдалануды бағалау мақсатында зерттеді.

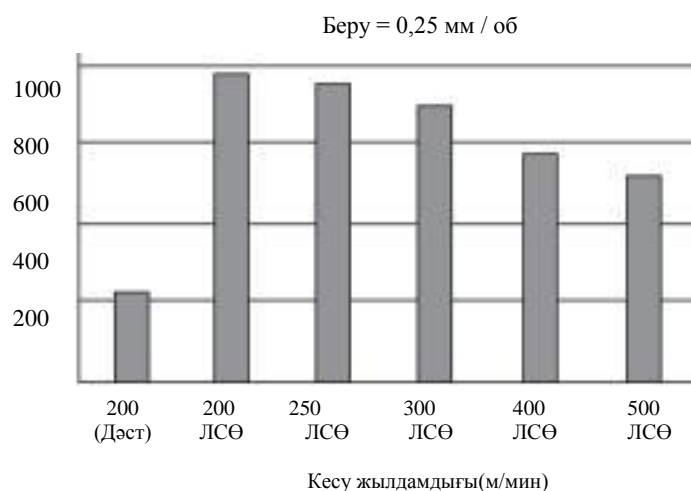
Таза жонып өңдеуге сынау Bohringer NG200 станогында 36 кВт токарлық орталығы бар және максималды жылдамдығы 4000 айн / мин. ең жоғары қуаты, nd: лазер 1006-D 4 kW Trumpf ИАГ өндірілген. Кесу аймағына жақын температуралық өріс 900°C дейін температураны өлшеу үшін жарамды ИК-камераның көмегімен өлшенді. Құралдың тозуы стереоскопиялық микроскоптың көмегімен өлшенді. Беттің кедір-бұдырлығын портативті Taylor Hobson Surtronic 3+пайдалана отырып, әрбір өтпеден кейін өлшеді. Дайындама (28 HRC 718-де) ерітіндімен термиялық өңдеуден өтіп, ұсталды. Құрал $\gamma = -5^\circ$ және $r = 6,35$ мм (Kennametal, KY 1540) бар дөңгелек керамикалық ендіріме кремний нитриді/алюминий оксиді/алюминий нитриді (SiAlON), тозуға сезімтал емес.

Чип морфологиясын талдау үздіксіз лентаны көрсетті - фишкалар ретінде (сурет. 9.8). ЛТӨ алынған жоңқаның ығысуын оқшаулауға үлкен бейімділігі және ЛТӨ термиялық жұмсартқыш әсері есебінен бастапқы ығысу аймағында үлкен деформацияны көрсетеді [23]. Кесу жылдамдығын арттыру, алайда, жұқа жоңқаға (төмен деформация) әкелді. ЛТӨ кезінде, кесу жылдамдығының ұлғаюына қарай, кесу температурасы артады, бірақ лазерлік жылу жұтылуы қорытынды әсер Ts

бетінің температурасының төмендеуі болып табылады (сурет.9.9). 300 м / мин жоғары жылдамдық кезінде айтарлықтай жұмсартқыш әсер алу үшін қажетті температуралық деңгейге қол жеткізілген жок (650-700 °с).



Сурет 9.8 Құрғақ күйдегі Инконель 718 жоңқасының морфологиясына кесу әсері. (Аттия мен басқ. [25].)



Сурет 9.9 Дәстүрлі және ЛТӨ Инконель 718 үшін ИК-әр түрлі кесу жылдамдығында бетінің температурасын өлшеу. (Аттия және т.б. [25].)

Шоғырланған жылжу жаңқаларының (ара тәрізді) (сурет 9.8) пайда болуы өзгермеген жаңқаның қалыңдығын кесудің қолайлы жағдайларымен, теріс алдыңғы бұрышпен және материалдың бұзылуына әкелетін жоғары кесу жылдамдығымен түсіндіріледі [25].

$V = 300$ м / мин кезінде 0,25-тен 0,5 мм / об дейін берудің ұлғаюы. РШҚ қаттылығының 39,1-ден 48,9-ға дейін артуына әкелді. Зерттеулер, сондай-ақ, дәстүрлі механикалық өндеумен салыстырғанда ЛТӨ негізгі күштік құрауыштың айтарлықтай құлдырауына қол жеткізетінін көрсетті. Радиалды және беруші компоненттер кесу жылдамдығы ЛТӨ кезінде айтарлықтай әсер етпеді ($V = 200-500$ м / мин); дегенмен, олар дәстүрлі өндеу салыстырғанда айтарлықтай құлдырау көрсетті, мұнда кесу жылдамдығы $V = 200$ м / мин.

ЛТӨ жағдайында өндеу кезінде оңтайлы кесу жылдамдығы (300 м / мин) кезінде Аттия және т.б. көрсетілген [25] күш компоненттерінің берілістің ұлғаюымен ұлғаяды, өйткені қалың жоңқасы пайда болады. Ең қызықты нәтиже құрал-сайманның тозуы және ЛТӨ-дың үстіңгі бетінің кедір-бұдырлығы 0,25-тен 0,4 мм/об-ға дейін беруінің ұлғаюымен азаяды, оны лам-дың басты артықшылығы ретінде қарастыруға болады (сурет. 9.10).

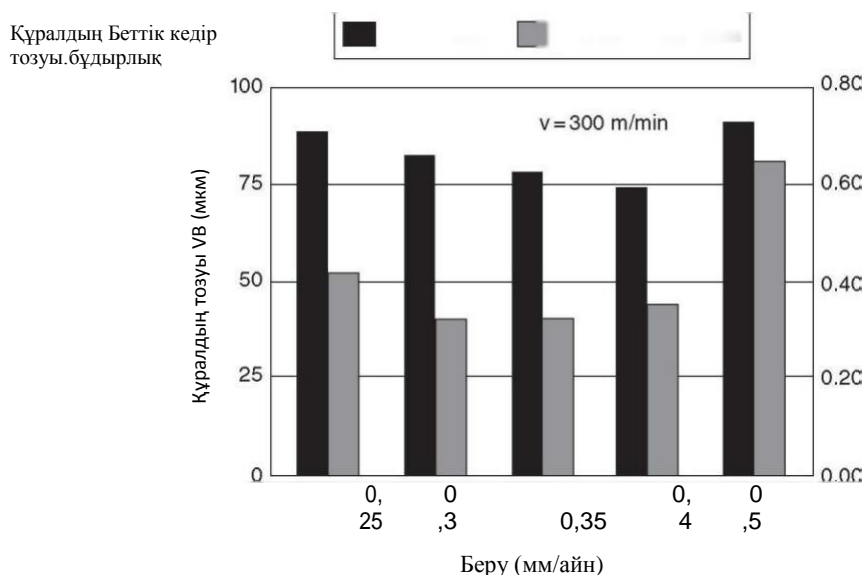
Бұл жоңқалар мен кескіш жиек арасындағы байланыс қысымының көп таралуын жасайтын қалың жоңқалармен байланысты болды. Алайда беру жылдамдығы 0,4 мм/об жоғары болған кезде құрал-сайманның тозуының және беттің кедір-бұдырлығының артуы байқалды, бұл радиациялық жылуды

неғұрлым жоғары беру кезінде неғұрлым төмен сіңірумен түсіндіруге болады. ЛТӨ -да кедір-бұдырлық 25% - ға азайды, Егер беру 0,25-тен 0,4 мм / об-ға дейін ұлғайған болса (сурет. 9.10). Атия және басқ. Л. [25] материалды жою жылдамдығы (МЖЖ) дәстүрлі өңдеумен салыстырғанда ЛТӨ -да 800% - ға артты деп есептеді.

ЛТӨ-дың ыстыққа төзімді қорытпады, тот баспайтын болаттарды және басқа да қиын өңделетін материалдарды өңдеу үшін перспективалы технологиямен жасайтын қызып кету немесе микро айрықшалардан фазалық өзгерістер енгізбейді. Андерсон және т.б. түрлі жағдайларда ЛТӨ Инконель

718 зерттеді. Құралдың тозуы, күш, беттің кедір-бұдырлығы және кесудің үлестік энергиясы зерттелді. ЛТӨ артықшылығы арнайы кесу энергиясында 25% азаюмен, үстіңгі кедір - бұдырлықта үш есе азаюмен және керамикалық өмірде дәстүрлі механикалық өңдеуден астам құралдың 200-300% ұлғаюымен көрсетілді. Экономикалық талдау ЛТӨ Инконель 718 Елеулі артықшылықтарын көрсетті.

Джермен және т. б. [36] сондай-ақ, карбидті және керамикалық кірістіру пайдалана отырып, ЛТӨ Инконель 718 (NiCr19FeNb кезінде 46 БРЖ) зерттеді. Олар материалды жою алдында жергілікті қыздыру арқасында өңдеу жақсарғанын анықтады.



Сурет 9.10 ЛТӨ оңтайлы кесу жылдамдығы үшін фланецтің орташа тозуы және Ра бетінің кедір-бұдырлығы (300 м / мин) Инконель 718. (Атия мен т.б.[25].)

ЛТӨ кесу күшін айтарлықтай төмендетеді. Сынақтар қандай кірістіру қолданылатынына қарамастан, ЛТӨ кесу Күшін 40% дейін төмендетеді. Өңделген беттің бүтіндігі беттің кедір-бұдырлығы дәстүрлі өңдеумен салыстырғанда ЛТӨ керамикалық ендірімелерді пайдалану арқылы жақсармайды. Алайда, бұл ұлғаю қатты балқытпалармен көрінбейді. Карбид ендірімелеріне қарағанда, керамикалық ендірімелер ЛТӨ кезінде өте жақсы сипаттамаларды қамтамасыз етеді. ЛТӨ-дегі қатты балқытын пластиналардың қызмет ету мерзімі дәстүрлі өңдеуге қарағанда айтарлықтай төмен, ал керамикалық ендірімелердің қызмет ету мерзімі дәстүрлі өңдеумен салыстырғанда шамамен 25% - ға артады.

Инконель 718 (және жалпы ыстыққа төзімді -қорытпалар (SA) механикалық өңдеу бойынша жарияланған жұмыстардың көпшілігі негізінен бір нүктелі (токарлық өңдеу) аспаптарға арналды, ал фрезеровкаға процестің күрделілігіне байланысты аз көңіл бөлінді [22]. Алауддин және т.б. [27] құрғақ жағдайларда жабусыз қатты балқытын пластиналарды пайдалану кезінде фрезерлеу кезінде in 718 (ыстық соғу және күйдіру-260 БҚС) өңдеуін зерттеуді ұсынды. Олардың негізгі міндеті құрал ресурсы мен бетінің сапасы тұрғысынан өңдеу шарттарын оңтайландыру болып табылады. Бұл зерттеу құрал жабыны жоқ карбид, СХҰ-К20 немесе Sandvik Grade H13A (94% WC (вольфрам карбиді), 6% Co). Диаметрі 25 мм шеткі фрезаларға, екі қондырмалы, көлбеу бұрышы 5° және биіктігі 0,8 мм радиусы бар. Салыстырмалы өңдеу IN 718 нашар болса да, ол 15-30 м/мин кесу жылдамдығының диапазонында

қанағаттанарлық фрезерленуі мүмкін, беру диапазоны 0,04-0,1 мм/тіс және осьтік кесу тереңдігі 2,0 мм дейін [27]. Фрезерлік білдекте 5-9, 5 мин диапазондағы құралдың қызмет ету мерзімі және диапазондағы беттің кедір-бұдырлығы (0,35-1,2 кв. м) 19-29 мм / мин кесу жылдамдығының диапазонында қол жеткізілді, беру жылдамдығы 0,09 мм / тістерді құрайды, ал кесудің осьтік тереңдігі 1,0 мм күтілгендей, беттің тазалығы жылдамдықпен ұлғайып, беру жылдамдығымен азайған. [27].

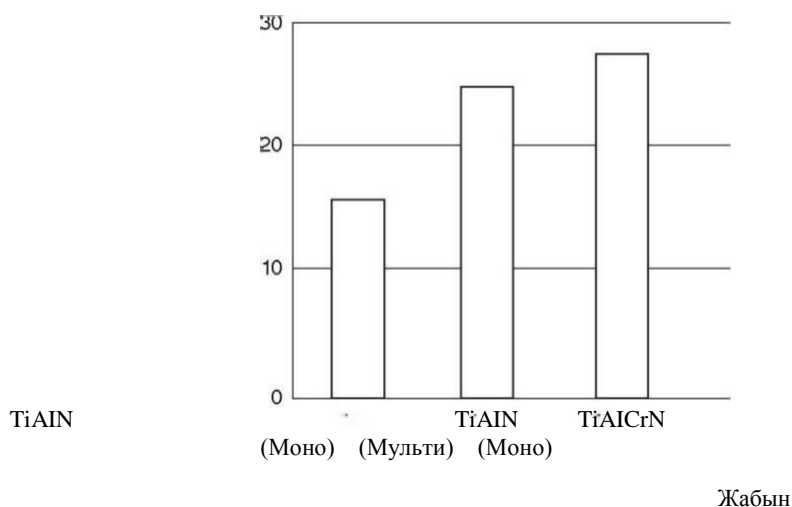
Инконель 718-ден жасалған аэро-фольганы өңдеуге арналған ұштық фрезаларды пайдаланатын ӨЖЖ Ng және т.б. зерттелді. Құралдың ең жақсы ресурсы жоғары қысымды майлау-суыту сұйықтығын (70 бар, 26 л/мин) пайдалана отырып кесу кезінде қол жеткізілді. Құралдың қызмет ету мерзімі құрғақ күйінде екі есе көп болды. Барлық зерттелген құралдар WC қатты микрокүкіртті, диаметрі 8 мм, соңында 30° спираль фрезалары болды. Олар 9.6 кестеде көрсетілгендей, PVD жабылған.

Құрғақ өңдеу кезінде TiAlN жабыны CrN жабуына қарағанда жақсы орындалды, өйткені біріншісі тотығуға жоғары төзімділік, жоғары қаттылық және үйкеліс коэффициенті (кесте. 9.7). Кесетін сұйықтықты жоғары қысымда қолданған кезде TiAlCrN жабыны бар құрал жақсы нәтиже көрсетті (кесу ұзындығы) (9.11-сурет).

Бұдан басқа, оның беріктігі 90 м/мин кесу жылдамдығы кезінде жабынды, сондай-ақ жабылмаған қатты балқитын құралдарды пайдалану кезінде жоғары қысымды майлау-суыту сұйықтықтарын пайдаланудың артықшылығын көрсетеді [28].

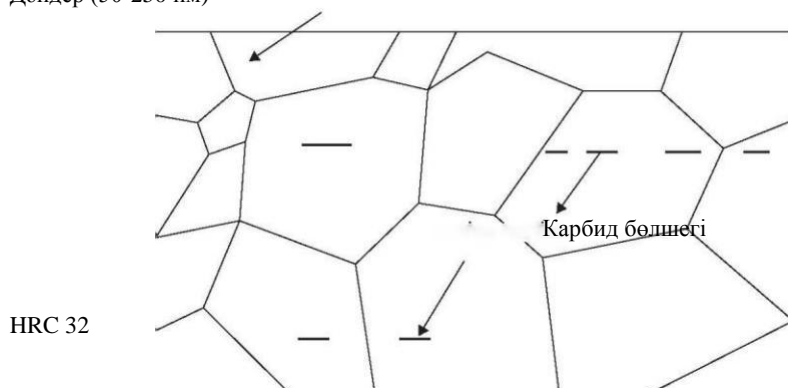
Кесте 9.7 Ng деректері бойынша Инконель 718 жоғары жылдамдықты шеткі фрезерлеуде қолданылатын PVD-жабындардың қасиеттері және т. б.. [28]

Жабынның PVD	TiAlN/CrN			
	CrN (моно-қабат)	(мульти- қабат)	TiAlN (моно-қабат)	TiAlCrN (моно- қабат)
Жабын қалыңдығы (км)	3-4	2-5	1-3	3
Үйкеліс коэффициенті	0,5	0,4	0,4	0,7
Микро қаттылығы (HV 0,05)	1750	3000	3500	3000
Максималды жұмыс температурасы (°C)	700	800	800	700



9.11 сурет Инконель 718 жоғары жылдамдықты шеткі фрезерлеу кезінде кесу ұзындығында (м) көрсетілген құралдың қызмет ету мерзіміне жабындысының әсері. (Ng және басқалары. [28].)

Дәндер (50-250 мкм)



9.12 сурет Ni Хейнс 282 негізіндегі ыстыққа төзімді қорытпаның микроқұрылымының иллюстрациялық эскизі [29].

Худ және т. б. [29] егжей-тегжейлі сипатталған әсері жұмыс айнаымалылардың қызмет ету мерзімі құрал-саймандар мен тұтастығын бетін кезінде Хейнс 282 никелін фрезерлеу соңында (Ni - 20 Cr - 10 Co - 8,5 Mo - 2,1 Ti - 1,5 Al - 1,5 Fe - 0,3 Mn - 0,15 Si - 0,06 C - 0,005 B), 32 РШҚ көлемді қаттылықты қамтамасыз ету үшін шөгуге термоөңдеу, және оны қалыңдығы 6,5 мм пластиналарда берді. Астық мөлшері, әдетте, шамамен 50-250 м құрады, ал ұзындығы 12 м-ге дейінгі Карбид бөлшектері микроқұрылымға көмілген (9.12 сурет). Кескіш диаметрі 20 мм болатын, TiAlN жабыны бар үш дөңгелек қатты балқитын ендірмелермен жабдықталған. Кесу күші үш компонентті пьезоэлектрлік динамометр KiEОler 8654А арқылы өлшенді.

Құралдың тозуы 1 кв. м. ажыратымдылығы құралды дайындаушының сандық микроскоптың көмегімен өлшенген, ал Ra бетінің кедір-бұдырлығы Talysurf Hobson 120 L пайдаланып өлшенген. Білдек ретінде айналдырғының ең жоғары жылдамдығы 20 000 айн / мин болатын 15 кВт - Matsuura қуаты бар тік Фрезер орталығы қолданылды.

Олардың жоспарына сәйкес [29], тек төрт өңдеу деңгейі жабдық өндірушілер берген ұсынылған жұмыс параметрлерінің (екі жылдамдық және екі беру) негізінде таңдап алынды. Ең жоғары жұмыс параметрлері кесудің жоғары жылдамдығы және 0,1 мм/тіс берудің жоғары жылдамдығы болды, ал ең төмен параметрлері кесу жылдамдығы мен 0,05 мм/тіс берудің аз жылдамдығы болды. Өкінішке орай, коммерциялық шектеулер 15-75 м/мин диапазонында болуы мүмкін, бірақ кесу жылдамдығын дәл хабарлауға мүмкіндік бермейді [29].

Тиісінше, ең жоғары жұмыс параметрлері кезінде 45 мин өңдеуден кейін фланецтің 213 км тозуы өлшенді. Кесу жылдамдығының немесе беру жылдамдығының төмендеуі, әдетте, құралдың қызмет ету мерзімінің пропорционалды ұлғаюын тудырды. Ең төменгі жұмыс параметрлері бар фрезерлеу, әдетте, 0,15–0,3 мм рт бетінің кедір-бұдырлық деңгейіне әкелді. Ескерту бойынша орташа тозудың 50-ден 180 мкм-ге дейін ұлғаюына қарай екі есе ұлғайған. Сондай-ақ, үш күштік компоненттер фланецтің тозуының ұлғаюымен ұлғаяды және фрезерлеу кезінде Хейнс 282 өңдеу өнімділігі 718 ұқсас болды, бірақ пі RR1000 негізіндегі ыстыққа төзімді қорытпаның ұнтақты өңдеумен салыстырғанда төмен болды.

Худ және т.б. алдыңғы ұқсас зерттеу жүргізді [29], алайда ол сол балқытпаны никель негізіндегі фрезерлеудің орнына бұрғылау арқылы орындалды, ол авиациялық козғалтқыш корпусының материалы ретінде қолданылатын Хейнс 282. Жабыны бар қатты балқитын спиральды бұрғыларды қолдана отырып, бұрғылау майлау-суытусұйықтығының жоғары қысымымен (50 бар) жүргізілді. Сынаулар анықтамалықтағы машиналар мен эксперименталды жабдықтарды қолдану арқылы жүргізілді [29]. Ол сондай-ақ бұрғылау кезінде жарылу мен қоректену жылдамдығының өзгеруін қосады. Тиісінше, төмен жұмыс параметрлері кезінде, бұрын [29] талқыланғандай, құралдың бүйірінің тозуы тұтастай біркелкі болды. Дегенмен, құрал бұрышының фаскасының кең тозуы / жарықшақтығы көптеген сынақтар айқын болды. Фланецтің тозуының 30-дан 100 км-ге дейін артуы Ra кедір-бұдырлығының 33% - ға төмендеуі себеп болды. Жұмыс параметрлерінің өзгеруі беттің кедір-бұдырлығына шектеулі әсер ету үшін бекітілген. HuTBBenes дейін болды 250 qm, және көптеген сынақтарға кіру және шығу тесік өндірілген. Микро-қаттылық нәтижелері 50 НК0 дейін қаттылықтың ұлғаюын көрсетті. 05 алғашқы 50 мкм ішінде көлемнен жоғары. Беттік/үстіңгі беткі

микроструктуралық зақымданулар 15 мкм дейінгі тереңдікте, ақ қабаттан 6 мкм дейін үзік қабаты бар дәндердің деформацияланған шекараларының анықталған [30].

Имран және т.б. Ni CMSX4 (АҚШ патенті 6996695) негізінде монокристалды балқытпаның терең тесіктерін микро бұрғылау зерттеді. Терең тесіктері бар микросұлба қиын кесетін материалдар үшін өте қиын, әсіресе 10 аспектісі бар терең тесіктер үшін, өйткені мұндай материалдардың беріктігі құралдың сынуын негізгі проблема етеді.

CMSX4 балқытпасының номиналды құрамы мен орташа микро қаттылығы 9.8-кестеде келтірілген. Оның тарихы анықтамалықта келтірілген. Бұл балқытпа қазіргі уақытта ең күшті балқытпалардың бірі монокристалл ни-негіз ыстыққа төзімді .

Кесте 9.8 құрамы (Mac.ni CMSX4 негізіндегі монокристалды құю ыстыққа төзімді қорытпасының микро қаттылығы (US-Patent: 696695)

Cr	Co	Mo	W	Ta	Al	Ti	Hf	Re	Ni	HV (орташа)
7	9	0,6	6	7	5,6	1	0,1	3	Теңгерім	375

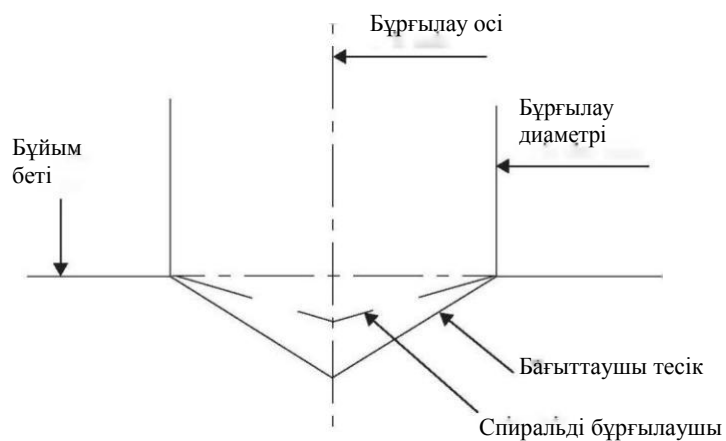
Дәннің орташа өлшемі: 1.5 км, тығыздығы: 9,0 г/см³, Co 0,1-9,5% дейін шектелуі тиіс. ЭЭӨ (электр эрозиялық өңдеу), ЛӨ (лазерлік өңдеу) және ЭСӨ (электрондық-сәулелік өңдеу) кейде микро бұрғылау ауыстыра алады, осы дәстүрлі емес жылу процестерін пайдалану кезінде беттің тұтастығы мен тозаңдануы жөнінде алаңдаушылық бар. Сонымен қатар, механикалық микробөлшектер бәсекеге қабілетті дөңгелектікке, тегіс бетке және тапсырыстың жақсы уақытына қол жеткізу үшін әлеуетке ие. Микроөңдеу ретінде жіктеуге болатын бір пікір жоқ. Дегенмен, Масудзава 1-999 кв. м диапазонында бөлшектерді өңдеу ретінде кеңінен анықтады, бұл әлі де қолайлы.

Ni негізіндегі CMSX4 балқытпасының нашар өңделуіне байланысты суыту сұйықтығы кесу температурасын төмендету үшін пайдаланылды; сонымен қатар, клевания циклы бапталды. Бұрғылау Micron ӘЖЖ-400 өңдеу орталығында жүргізілді. Жылыту бағдарламасы білдекпен пен жарактың температурасын тұрақтандыру үшін стартта қолданылды.

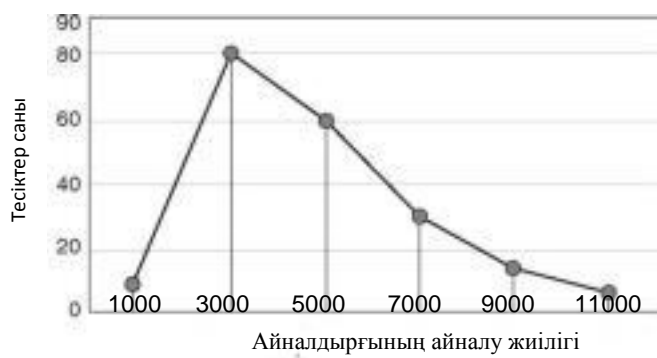
9.13-суретте қысқарту стратегиясы көрсетілген. Алдымен тереңдігі 0,13 мм дейінгі сол диаметрдің сынама тесігі жасалды. Негізгі бұрғыларды 150° нүктесінің бұрышымен және 30° спиральмен қолданды. Оның тісі бағыттаушы тесіктің төменгі бөлігіне қатысты емес, оның орнына алдымен негізгі кесу жиектері қосылады. Бұл бұрғы мен сынуға кедергі жасамай, кіре берісте айналу осін тұрақтандыра отырып, бұрғышты біртіндеп жүктеуге көмектеседі.

Бұрғылау көлемі 0,6 қм, 8% Co, қаттылығы 93 HRA, TiAlN жабылған, әдетте қиын өңделетін материалдарды өңдеу үшін ұсынылады. Бұрғылау диаметрі 0,5 мм, ал құйрығы-3 мм, тесіктің тереңдігі 5 мм (L / D = 10) [31].

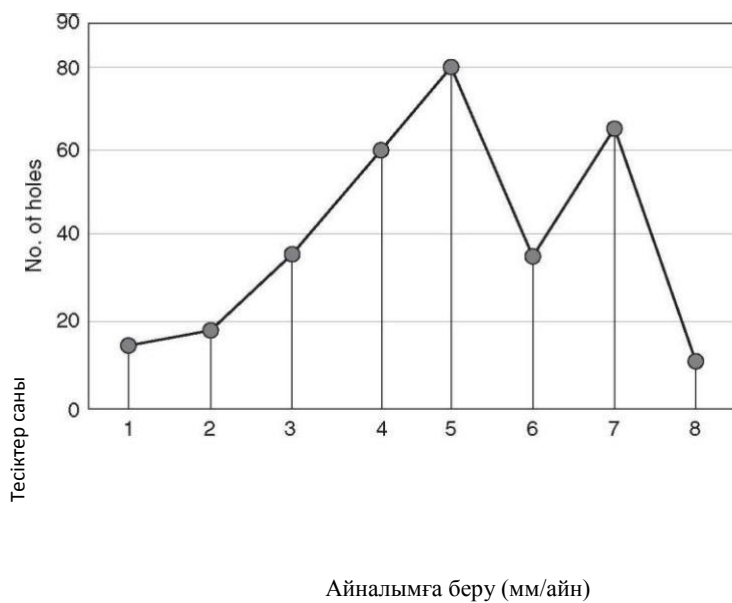
Технологиялық параметрлердің әсері бағаланды және құралдың тозу механизмі зерттелді. Бұрғылаудың сынуына дейінгі тесіктердің саны кесу өнімділігінің көрсеткіші ретінде қабылданды [32]. Микросұлбалардың берілуіне, айналдырғы жылдамдығына және кесудің тереңдігіне және кесудің тереңдігіне сезімтал болғаны анықталды. 9.14 және 9.15 суреттерде жылдамдықтың әсері (айналдырғының айн/мин түрінде көрсетілген) және бұрғыштың берілуінің әсері көрсетілген. Оңтайлы жағдайлар айналу жиілігі N = 3000 айн/мин (кесу жылдамдығына сәйкес V ~ 5 м/мин) және беру жылдамдығы 5 км / об) кезінде іске асырылады.



9.13-сурет. Күрделі өңделетін материалдарды микро бұрғылау үшін аспаптық стратегиялар.



Сурет 9.14 Ni негізінде CMSX4 ыстыққа төзімді қорытпасын микросұлбалау кезінде бұрғылау қызметінің мерзіміне кесу жылдамдығының әсері (тесіктер саны) (Имран және т.б. [31].)



9.15-сурет. Ni негізінде CMSX4 ыстыққа төзімді қорытпасын микросверлеуде бұрғылау қызметінің мерзіміне беру жылдамдығының әсері (тесіктер саны) (Имран және т.б.[31].)

3000 айн/мин және 5 мкм / об беру кезінде бұрғыланған тесіктердің өлшемдік мәні микро бұрғыштың біртіндеп бүйірден тозуы есебінен тесіктер санының біртіндеп азаюын көрсетті [31].

Имран және т.б. сондай-ақ Ni CMSX4 негізіндегі балқытпаның микробөлшеу мүмкіндігін тексерді, бұл құралдың тозуы, беттің бүтіндігі және ыстыққа төзімді қорытпа процесінің өнімділігін оңтайландыру сияқты мәселелер бойынша болашақ әзірлемелерге мүмкіндіктер ашты.

УДӨ -өңдеу өнімділігін арттыру үшін кесу құралының ультрадыбыстық тербелісі әдісі. US-HF- түрлендіргішпен өндірілетін тербелістер (жиілігі $f = 20$ кГц және амплитудасы $\xi = 10$ мкм), беру және жылдамдық қозғалысы бағытында тікелей салынады. Токарлық өңдеу жағдайында беру бағыты бойынша US-тербелістерді қолдану дайындаманың диаметріне қарамастан өңдеу параметрлерін реттеуге мүмкіндік береді. Бабицкая және т.б. Инконель 718 никель негізіндегі ыстыққа төзімді қорытпаны бұру кезінде кесу күштерінің айтарлықтай төмендеуін және бет тазалығының 50% - ға дейін жақсаруын байқады. [34], УДӨ дәстүрлі нүктемен салыстырғанда беру бағытында қолданылады.

Бұл дәстүрлі нүкте жоғары динамикалық қатаңдығы бар жоғары жиіліктегі соққы процесіне ауыстырылуымен байланысты болды.

Сондай-ақ, УДӨ тангенциалды бағытта қолданғанда өңдеудің айтарлықтай жақсаруы хабарланған. Беттік өңдеу жақсарту және аспапты фланкінің 1/5 дейін азаюы дәстүрлі бұрылу жүзеге асырылды. Бұл жақсарту түсіндіріледі, бұл тоқырау аймағы сирек кездеседі УДӨ тангенциалды бағытта [34].

Эзугву және т.б. ТББ жеткізілімдерін Инконель-718 керамикалық құралмен өңдеу кезінде, жіп тәрізді кристалдармен толтырылған суытусұйықтығының әдеттегі қорларымен салыстырды. Жоңқаларды сегменттеу қолданылатын кесу режимдеріне және көп жағдайда суыту сұйықтығының қысымына байланысты болады. Кесудің неғұрлым төмен күші кесу шекарасында жақсартылған суыту және майлау есебінен өңдеу кезінде құрылды. Қысымның сыни мәніне жеткеннен кейін суыту сұйықтығы қысымының одан әрі жоғарылауы құралдың қызмет ету мерзімінің аз ғана өсуіне әкеледі. Инконель-718 және ТББ таза бетін пайдалана отырып, басқа да қиын өңделетін балқытпаларды токарлық өңдеу кезінде және дәлдігі қолайлы болды [35].

9.4 Тот баспайтын болаттар мен ыстыққа төзімді қорытпаларды дәстүрлі емес механикалық өңдеуге қатысты соңғы зерттеулер

Соңғы екі онжылдықта ЭЭӨ қиын өңделетін материалдар, әсіресе ыстыққа төзімді қорытпалар айтарлықтай дамыған. Инконель 718, Хастеллой, IN-100 және т.б. сияқты Ni негізіндегі балқымалар ЭЭӨ ed сәтті өтті.

Женали және т.б [38] ЭЭӨ Инконель 718 шаршау беріктігі бастапқы материал үшін осындай салыстырғанда біршама төмендеді деп хабарлады. Ni негізіндегі осы балқытпаның микро қаттылығы мен кедір-бұдырлығы шамалы өсті, бұл қатты қабат (RL) алуға әкелді. MMR, электродтардың тозу жылдамдығы (ЭТЖ), беттің кедір-бұдырлығы (БКБ) және ЭЭӨ өңделген Γ ыстыққа төзімді қорытпалары сияқты реакция параметрлері зерттелді.

Хастеллой-Х ЭЭӨ жұмысының әртүрлі жағдайларында зерттелді және беттің тұтастығы (БТ) Канг и Ким тұрғысынан талданды. Олардың зерттеулеріндегі негізгі параметрлер импульсті қосу уақыты болды. Олар МЖЖ және ЭТЖ импульстің ұзақтығына қатысты өзін сызықсыз жүргізгенін хабарлады, ал морфологиялық және металлургиялық ерекшеліктер импульс ұзақтығымен өте тұрақты үрдісті көрсетті. Уақыт пульсі, алайда, термиялық әсер ету аймағының қалыңдығы мен микрожарылыктар санына әсер етті.

Инконель 718, Уанг және т.б. зерттеу кезінде өңдеу немесе тегістеу арқылы RL жою мүмкіндігін зерттеді. Олардың нәтижелері оң полярлық теріс полярлыққа қарағанда қалың RL жасай алатынын дәлелдеді. Фосфор немесе тұз қышқылдарының әсерінен коррозия Γ инконельді 718 жою жылдамдығын айтарлықтай арттыруы мүмкін. Микротұрақтылық сынағы мұндай коррозия негізгі материалға әсер етпей RL струк-турына зақым келтіруі мүмкін екенін көрсетті.

Ражеш және т. б. [41] зерттеді БТ кейін ЭЭӨ Инконель 718. Өңделген бетінің (ӨБ) морфологиясы ұшқын кезінде жылу разрядының үлкен санымен сипатталды, бұл кейіннен тез суытумен материалдың балқуы мен булануын туындатады.

Жоғары импульстік ток пен импульстік қосылу уақыты кезінде бетінің сапасы нашарлады.

Сондай-ақ, Ражеш және т.б. зерттеуде, сондай-ақ, диэлектрлік сұйықтық ретінде коммерциялық керосинді және түтікті таза Си-электрод және коммерциялық керосинді пайдалана отырып, Ni негізіндегі сол балқытпаның ЭЭӨ кезінде МРТ-ға өңдеу параметрлерінің әсері зерттелді. Зерттеулер КСБ-ЭЭӨ станоктарында жүргізілді және процесс параметрлері импульстік ток, импульсті қосу уақыты, саңылауды бақылау және жуу қысымы болды. Импульстік ток импульстен кейін ең маңызды параметр болып табылады деген қорытынды жасалды.

Бхарти және т.б. [42] си-электродты қолдану арқылы Эд-батыру кезінде Инконель 718 өңдеуін зерттеді. МСА, SR және ЭТЖ үшін жалпы әсер ететін параметрлер ретінде разряд тогы және импульсті қосу уақыты анықталды. Жұмыс циклі мен электрод-құралды шығару уақыты ең аз тиімді параметрлер болып табылатыны анықталды.

Кристен [43] Ni IN-100 негізіндегі балқытпадағы зерттеуде Росо ЭЭӨ3 және Росо AF5 екі түрлі графитті электродын пайдаланып, импульс ұзақтығының әсерін тексерді. Осы электродтардың кристалдарды қолданатын физикалық қасиеттері 9.9-кестеде келтірілген.

Графитті электродтар жоғары электр және жылу өткізгіштігінің, сондай-ақ жақсы өңделуінің арқасында ЭДМ-де кеңінен қолданылады. Олар дәннің мөлшеріне, тығыздығына және механикалық және электрлік қасиеттеріне негізделген. Нәтижелер көрсеткендей, Росо AF5 ұсақ дәндері және аз кеуектілігі бар ұсақ-түйіршікті маркалар өздерін өте жақсы көрсетті, қолайлы салыстырмалы электрод тозуы бар анағұрлым жоғары МЖЖ бере отырып, Росо ЭЭӨ3 басқа ірі түйіршікті маркасы электрод пен МЖЖ едәуір төмен тозуын берді. Сынақтан өткізілді екі деңгейін ток-разрядты (20 және 15 А) және ұзақтығы импульс (20 және 30-КС). АТТК 240 В болды, оң полярлық. Қорытынды, егер электродтың тозуы маңызды мәселе болып табылса, оңтайлы жағдайлар импульстің 20-дан 30 ПС-ға дейін ұзақтығын біршама арттыру және тек 6% МЖЖ жоғалту арқылы іске асырылуы мүмкін.

Клок және т.б. [44] ұнтақталған аспалы диэлектриктердің Inconel 718 EDM радиолокациялық бетіне әсерін зерттеді. Олар ұнтақ қоспаларының физикалық қасиеттерігі құрамы мен морфологиясын өзгерту маңызды рөл атқарады деп хабарлады. Кумар және т.б. Инконель 718-де ЭЭӨ ұнтақты суспензиясын механикалық өңдеу мүмкіншіліктерін кеңейтуде қосымша ретінде графит ұнтағының әлеуетін іске асырды және графит ұнтағын қосу ең жақсы параметрлік реттеулерде 12 г / л жұқа графиттен өңдеу жылдамдығын 27% - ға жақсартқанын анықтады. Прабху мен Винаягам диэлектрикпен аралас көміртекті нано түсіруді (УНТ) пайдалана отырып, 825 Инконелдегі ЭЭӨ процесін зерттеді және сәйкесінше беттің сипаттамасын талдады. Атомдық-күштік микроскоптың көмегімен талдау УНТ беттік сипаттамаларды (беттің морфологиясын), БКБ және микродеңгейден нано деңгейге дейін микрожарылықтарды жақсартатынын көрсетті.

Куппан және т. б. [47] зерттеді бұрғылау шағын терең тесіктерді Инконель 718 процесін пайдалана отырып ЭЭӨ анықтады, бұл МЖЖ көп әсер етеді қауырт ток, жұмыс циклі және айналу жылдамдығы электрод, ал БКБ (мәні Ra) қауырт ток және пульс кезінде қатты әсер етеді.

Кесте 9.9 KriEOpen сәйкес Росо ЭЭӨ3 және Росо AF5 графит электродтарының физикалық қасиеттері [42]

Физикалық сипаттамалар	Электрод	
	Росо ЭЭӨ3	Росо AF5
Бөлшектер өлшемі (ТЧ)	<5	<1
Қаттылық (креп)	76	87
Үйінді тығыздығы (г / см ³)	1,8	1,8
Қысу беріктігі (МПа)	148	186

Электродтың айналу жылдамдығын арттыру МЖЖ артуына әкеледі, ал Ra 200-300 айн / мин айналу жылдамдығы кезінде ең аз мәнге жетеді, содан кейін айналу жылдамдығын ұлғайтумен артады. БТ жақсы ағымдағы мәндерге жетті.

Будан және т.б. [48] TI-6Al-4 V және Инконель 718 аэрокосмостық балқытпаларында алынған жылдам әрекет ететін ЭЭӨ көмегімен құбырлы қуыс мыс және мыс электродтарын қолдана отырып

тесілген және бітеу тесіктердің бетін өңдеу сипаттамаларының салыстырмалы зерттеуін ұсынды. ӨЖ (өңдеу жылдамдығы) және ЭТЖ және жиектелген беттердің қолайлы рельефінің қажетті мәндеріне қол жеткізу электрод материалын тиісті таңдауға және өтпелі немесе бітеу тесікті орындауды таңдауға байланысты екені анықталды. Жез электрод си-электродпен салыстырғанда екі материалда да тесік және тесік үшін МЖЖ салыстырмалы ең жақсы нәтижелерді қамтамасыз етті.

Арун Муту және т.б. ЭЭӨ Инконель 800 қарапайым Al-электродты, сондай-ақ магнит күші бар ЭЭӨ зерттеді. SR, ЭТЖ және МЖЖ қоса, жауап сипаттамалары бағаланды және салыстырылды. Жауап параметрлері қалыпты ЭЭӨ емес, магнитті-күштік ЭЭӨ қолдануымен айтарлықтай жақсарады деген қорытынды жасалды.

Газ ЛСӨ арқылы үлкен терең тесік жасау қиын, себебі газ тесігінің төменгі бөлігінен балқытылған және қалпына келтірілген металды шығару қиын, демек, өңдеу және дәлдігі төмендейді. Лазерлік сәулемен ультрадыбысты өңдеу (УДӨ) бұл мәселені шешу мүмкін және газ ЛСӨ қарағанда артық болуы мүмкін. Лау және авторластар УДӨ қиын өңделетін материалдарды зерттеді, және бұрғылау жылдамдығы мен терең тесіктердің дәлдігін аз конусты және жақтардың үлкейтілген арақатынасымен арттыру алынды.

Ультрадыбыстық механикалық электр эрозиялық өңдеуді (УДӨ/ЛСӨ) қамтитын зерттеулер, содан кейін төменгі жиіліктегі дірілмен ЭЭӨ-ге қатысты ЭЭӨ екенін көрсетті), содан кейін төменгі жиіліктегі дірілмен ЭЭӨ-ге қатысты, онда өңдеу уақытын, енудің ұлғайған тереңдігін, доғаның пайда болу жиілігін азайтуды, сондай-ақ оталдыру тиімділігін арттыруды, ӨБ мен ТӘА-ды азайтуды, сондай-ақ кейбір жағдайларда құралдың электр жабдықтарының тозуының төмендеуін көрсетті, негізінен, жақсартылған шаю мен қоқыстарды ұшқын аралығынан тазарту нәтижесінде. 1980 жылдардың басында Кремер және т. б. [51] нашар диэлектрлік циркуляция және қоқыс пен газдарды, әсіресе күрделі электродтармен көшіру сияқты ЭЭӨ шекті мәселелерінің кейбірін зерттеді. Ультрадыбыстық жиіліктегі (~20 кГц) дірілдейтін электродты пайдалану неғұрлым терең енуді және штамптың үңгілеу кезінде берудің жоғары жылдамдығын қамтамасыз етуге мүмкіндік беретіндігі анықталды. Графитті электродты пайдалану кезінде беру балку жылдамдығы бастапқы өңдеу кезінде 30% - ға және таза өңдеу кезінде 300% - ға ұлғайтылады. Келесі Жарияланымдар [52, 53], ультрадыбыстық жиіліктерде (20-23 кГц) 3-тен 30 ПМ дейінгі диапазондағы амплитудалармен, абразивті бөлшектермен де, диэлектрлік сұйықтықта диспергенсіз де, УДӨ/ЛСӨ тәсілінің оң артықшылықтарын егжей-тегжейлі сипаттайды. Лин және т. б. зерттеу әсіресе өзекті. Тазартылған суда (90 г/л) әдеттегі ЭЭӨ қарағанда екі есе көп. Мұнда абразив концентрациясы сыни деп жарияланды; егер тым көп болса, ол тұрақсыз разрядтарды шығарады.

Прихандана және т.б. хабарланған бойлық дірілдің төмен жиілігі нәтижелері [54] және Ульманн мен Домингос [55] 600 Гц жиілігінде және 0,75 пм амплитудасында 12,5-миллиметр мыс электродымен жұмыс кезінде алынған деректерді оң бағалайды, бұл МЖЖ-нің 23% - ға ұлғаюын, құралдың кедір-бұдырлығы мен тозуының төмендеуін көрсетеді. ТББ304 тот баспайтын болатты өңдеу кезінде бағалаңыз. Соңғы құжатта MAR-M247 жоғары аспектілік қатынасы бар тығыздаудың паздарын өңдеуге арналған қосарлы пьезоприводтар, 2-ден 16 сағатқа дейін амплитудалары бар жиілігі 1000 Гц дейін дірілдейтін графитті электродтарды пайдалана отырып, толық сипатталады, бұл МЖЖ ұлғаюын және тозудың төмендеуін қамтамасыз етеді.

NaClO_3 , NaCl және NaNO_3 сияқты электрохимиялық өңдеуде қарапайым қолданылатын тұз электролиттері (ЭХӨ) өзекте (механикалық өңдеуден өткен электролиттік формалық түтікте) және ЭА (электр-ағында) пайдаланылмауға тиіс, себебі олар электролитті беруді бітейтін және бұрғылауға қажетті ең аз диаметрді шектейтін шуганың көп мөлшерін өндіреді. Демек, қышқыл өзек және ЭА терең тесік бұрғылау үшін пайдаланылады.

Сұйылтылған хлорлы сутегі қышқылы IN-100 және TI-балқытпаларды бұрғылау үшін пайдаланылған, ал сұйылтылған күкірт қышқылы Со-негізінің балқытпалары үшін, және 304, 316, және 321 тот баспайтын болаттар үшін қолайлы. Дегенмен, электролит қышқылы мәселе коррозия жұмысы және өңделген бетінің сапасын нашарлауы, әсіресе HCl. Осы мәселені шешу үшін шламның пайда болуын азайту үшін NaCl (10% NaCl + 1% HCl) қышқылданған электролитті қолданған. Жүйе арқылы шығын ең алдымен электрод аралық саңылаудың шамасына байланысты.

Тиісті зерттеулер көрсеткендей, жақсы тесіктер төмен АТТК (15-30) және салыстырмалы Жоғары беру жылдамдығының (0,65-1 мм/мин) үйлесімімен алынуы мүмкін, бұл тепе-тең саңылаудың төмен мәніне әкеледі. Катод құралы-қуыс си-түтікше (1,75 мм / 0,68 мм). Кездейсоқ өңдеуге жол бермеу үшін

құрал плексигласты оқшаулағыш қабатпен жабылуы тиіс. Катод катодтың де-факто ретінде шығыңқы бит аспабы, 1 мм учаскесі және диаметрі 3 мм. Катод түтігінің екінші ұшы электролитті беру түтігімен қосылған шприцтің басына дәнекерленген. 11 қатынасымен жақсы бірқалыпты тесік Инконель 718-де АТТК 17 В және құрал беру жылдамдығы 1 мм алынған [56]. Жақсы контактіге жету үшін әрбір төсем екі жағынан да дұға ету жолымен аяқталды, сонда ұшында дәнекерленген болатын. Құрамдас дайындамалар тесіктердің диаметрлерін, габаритті емес және сопақша тесіктің тереңдігіне байланысты өлшеуді жеңілдетеді.

Әдебиетке сілтемелер

- [1] Bass, M. Beck, D., Copley, S.M. (1978) Laser-assisted machining SPIE. *4th European Electro-Optics Conference*, Vol. **164**, pp. 233–240.
- [2] Chandrasekaran, H., Johnson, J.O. (1994) Chip flow and notch wear mechanism during the machining of high austenitic stainless steels. *Ann. CIRP* **43**(1), 101–104.
- [3] Anderson, M.C., Shin, Y.C. (2006) Laser-assisted machining of an austenitic stainless steel: P550. *Proc. Inst. Mech. Eng.* **220**(Part B), 2055–2067.
- [4] Saller, G., Aigner, H. (2004) High nitrogen alloyed steels for nonmagnetic drill collars. Standard Steel Grades and latest developments. *Mater. Manuf. Processes* **19**(1), 41–49.
- [5] Leppert, T. (2011) Surface layer properties of AISI 316L steel when turning under dry and with MQL conditions. *Proc. Inst. Mech. Eng.* **226** (Part B), 617–631.
- [6] Ciftci, I. (2006) Machining of austenitic stainless steels using CVD multi-layer coated cemented carbide tools. *Tribol. Int.* **39**(6), 565–569.
- [7] Bruni, C., Forcellese, A., Gabrielli, F., Simoncini, M. (2006) Effect of the lubrication-cooling technique, insert technology and machine bed material on the workpart surface finish and tool wear in finish turning of AISI 420B. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* **46** (12–13), 1547–1554.
- [8] Tekiner, Z., Yesilyurt, S. (2004) Investigation of the cutting parameters depending on process sound during turning of AISI 304 austenitic stainless steel, *Mater. Des.* **25**, 507–513
- [9] Mesquita, R.M.D., Marques, B. (1992) Effect of chip-breaker geometries on cutting forces. *J. Mater. Process.*
- [10] Flower, H.M. (1995) *High Performance in Aerospace Materials* Chapman & Hall, London.
- [11] Campbell, G.S., Lahey, R.T.C. (1984) Survey of serious aircraft accidents involving fatigue fracture. *Int. J. Fatigue*, **6** (1), 25–30.
- [12] Olajire, K.A. (1999) Machining of aerospace steel alloy with coated carbides. PhD thesis. Coventry University, August 1999.
- [13] Jawaid, A., Olajire, K.A., Ezugwu, E.O. (2001) Machining of martensitic stainless steels (JETHETE) with coated carbides. *Proc. Inst. Mech. Eng.* **215** (Part B), 769–779.
- [14] Lin, W.S. (2008) The study of high speed fine turning of austenitic stainless steels. *J. Achiev. Mater. Manuf. Eng.* **27**(2), 191–194.
- [15] Fernandez-Abia, A.I., Barreiro, J., Lopez de Lacalle, L.N., Martinez, S. (2011) Effect of very high cutting speeds on shearing, cutting forces, and roughness in dry turning of austenitic stainless steels. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* **57**, 61–71.
- [16] Karenk, S.R., Gaitonde, V., Davim, J.P. (2007) Integrating Taguchi principle with genetic algorithm to minimize burr size in drilling of AISI 316L stainless steel using an artificial neural network mode I. *Proc. Inst. Mech. Eng.* **221** (Part B), 1695–1704.
- [17] Khan, A.A., Ahmed, M.I. (2007) Improving tool life using cryogenic cooling. *J. Mater. Process. Technol.* **196**, 149–154.
- [18] Venugopal, K.A., Paul, S., Chattopadhyay, A.B. (2007) Growth of tool wear in turning of Ti-6Al-4V alloy under cryogenic cooling. *Wear* **262**, 1071–1078.
- [19] RR1000-SecoTools (2013) <https://www.secotools.com> (accessed June 15, 2015).
- [20] Axinte, D.A., Andrews, P. (2007) Some considerations on tool wear and workpiece surface quality of holes finished- by reaming or milling in Ni-base super alloys, *Proc. Inst. Mech. Eng.* **221** (Part B), 591–603.
- [21] Soo, S.L., Hood, R., Aspinwall, D.K., et al. (2013) Machinability and surface integrity of RR1000 Ni-base super alloy. *CIRP-Ann.* **60**(1), 89–92.
- [22] Choudhury, I.A., El-Baradie, M.A. (1998) Machining nickel-base super alloys: IN718, *Proc. Inst. Mech. Eng.* **212** (Part B), 195–206.
- [23] Dudzinski, D., Devillez, A., Moufki, A., Larrouquère, D., Zerrouki, V., Vigneau, J., A review of developments towards dry and HSM of Inconel 718, *Int. J. Mach. Tools Manuf.* **44**, (2004), 439–456.

- [24] Bushlyaa, V., Zhoua, J., Stahla, J.E. (2012) Effect of cutting conditions on machinability of Inconel 718 during high speed turning with coated and uncoated PCBN tools, *CIRP-Ann.***3**, 370–375.
- [25] Attia, H., Tavakoli, S., Vargas, R., Thomson, V. (2010) Laser-assisted high-speed-finish turning of super alloy Inconel 718 under dry conditions, *CIRP-Ann. Manuf. Technol.***59**, 83–88.
- [26] Anderson, M., Patwa, R., Shin, Y.C. (2006) Laser-assisted machining of Inconel 718 with an economic analysis, Center for Laser-based Manufacturing, School of Mechanical Engineering, Purdue University, USA, November 2005, *Int. J. Mach. Tools Manuf.***46**, 1879–1891.
- [27] Alauddin, M., El-Baradie, M.A., Hashmi, M.S.J. (1996) End-milling machinability of Inconel 718, *Proc. Inst. Mech. Eng.* **210**(Part B), 11–23.
- [28] Ng, E.G., Lee, D.W., Charman, A.R.C. *et al.* (2000) High speed nose end milling of Inconel 718, *CIRP-Ann.***49**, 41–50.
- [29] Hood, R., Soo, S.L., Aspinwall, D.K. *et al.* (2012) Radius end milling of Haynes 282 Ni-base alloy. *Proc. Inst. Mech. Eng.* **49**, 226, 1745–1753.
- [30] Hood, R., Soo, S.L., Aspinwall, D.K. *et al.* (2011) Twist drilling of Haynes 282 super alloy, *Proc. Inst. Mech. Eng.* **19**, 150–155.
- [31] Imran, M., Mativenga, R.T., Kannan, S., Movovic, D. (2008) An experimental investigation of deep-hole micro- drilling capability for a Ni-base Super Alloy CMSX4. *Proc. Inst. Mech. Eng.* **222** (Part B), 1589–1596.
- [32] Bhadeshia, H.K.D.H. (2003) 1st, 2nd, and 3rd Generation Single Crystal Ni-based Super Alloys, http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2003/super_alloys/SX/SX.html (accessed 17 April 2015).
- [33] Masuzawa, T. (2000) State of the art of micro-machining., *CIRP-Ann. Manuf. Technol.***49**(2), 473–488.
- [34] Babitskya, V.I., Kalashnikov, A.N., Meadows, A., Wijesundara, A.A. (2003) Ultrasonically assisted turning of aviation materials. *J. Mater. Process. Technol.***132**, 157–167.
- [35] Ezugwu, E. O., Bonney, J., Fadare, D.A., Sales, W.F. (2005) Machining of nickel base Inconel-718 alloy with ceramic tools under finishing conditions with various coolant supply pressure. *J. Mater. Process. Technol.***162–163**, 609–614.
- [36] Germain, G., Lebrun, J.L., Braham-Bouchnak, T, *et al.* (2008) Laser-assisted machining of Inconel 718 with carbide and ceramic inserts *International Journal of Material Forming***1**: 523–526.
- [37] AK. Singh, S. Kumar, V.P. Singh Electrical discharge machining of superalloys: a review, *Int. J. Res. Mech. Eng. Technol.*
- [38] Jeelani S., Collins M.R. (1988) Effect of electric discharge machining on the fatigue life of Inconel 718, *Int. J. Fatigue* **10**(2), 121–126.
- [39] Kang, S.H., Kim, D.E. (2003) Investigation of EDM characteristics of nickel-based heat resistant alloy, *The Korean Society of Mechanical Engineers KSME International Journal* **17**(10): 1475–84.
- [40] Wang C.C., Chow H.M., Yang L.D., Lu C.T. (2009) Recast layer removal after electrical discharge machining via Taguchi analysis: a feasibility study, *J. Mater. Process. Technol.***209**, 4134–4140.
- [41] Rajesh, S., Patnaik, P.K., Sharma, A.K., Kumar, P. (2010) Surface integrity evaluation of electro discharge machined Inconel 718. *Proceedings of the 3rd International 24th AIMTDR Conference*, pp. 259–264.
- [42] Bharti P.S., Maheshwari S., Sharma C. (2010) Experimental investigation of Inconel 718 during die-sinking electric discharge machining, *Int. J. Eng. Sci. Technol.***2**(11), 6464–6473.
- [43] Kristen L.A. (2004) Performance of two graphite electrode qualified in EDM of seal slots in a jet engine turbine vane, *J. Mater. Process. Technol.***149**, 152–156.
- [44] Klocke F., Lung D., Antonoglou G., Thomaidis D. (2004) The effect of powder suspended dielectrics on the thermal influenced zone by electro discharge machining with small discharge energies, *J. Mater. Process. Technol.***149**, 191–197.
- [45] Kumar A., Maheshwari S., Sharma C., Beri N. (2010) Realizing potential of graphite powder in enhancing machining in AEDM of nickel based super alloy 718, *Proc. Int. Conf. Adv. Mech. Eng.* 50–53.
- [46] Prabhu S., Vinayagam B.K. AFM surface investigation of Inconel 825 with multi-wall carbon nano tube in electric discharge machining process using Taguchi analysis, *Arch. Civil Mech. Eng.*, **XI** (1), 149–170.
- [47] Kuppan P., Rajadurai A., Narayanan, S. (2011) Influence of EDM process parameters in deep hole drilling of Inconel 718, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.***38**, 74–84.
- [48] Bozdana, A.T., Yilmaz, O., Okka, M.A., Filiz, I.H. (2009) A comparative experimental study on fast hole EDM of Inconel 718 and Ti-6Al-4V. *5th International Conference and Exhibition on Design and Production of Machines and Dies/Moulds*, pp. 18–21.

- [49] Arun Muthu, B., Karthik, K.M., Soundararajan, R., Palanisamy, A. (2009) Characteristics of magnetic force- assisted electric discharge machining on Inconel 800. *Sixth International Conference on "Precision, Meso, Micro and Nano Engineering", COPEN 6*, pp. G7–G11.
- [50] Lau, W.S., Yue, T.M., Wang, M. (1994) US-aided laser drilling of Al-based metal matrix composites. *CIRP Ann.***43**/1, 177–180.
- [51] Kremer, D., Basine, G., Moisan, A. *et al.* (1983) Ultrasonic machining improves EDM technology. *Proceedings of the 7th International Symposium on Electromachining (ISEM VII)*, Birmingham, UK, 2–14 April, pp. 67–76.
- [52] Lin YC, Yan BH, Chang YS (2000) Machining characteristics of titanium alloy (Ti–6Al–4V) using a combination process of EDM with USM. *J. Mater. Process. Technol.***104**:171–177.
- [53] Thoe TB, Aspinwall DK, Killely N (1999) Combined ultrasonic and electrical discharge machining of ceramic coated nickel alloy. *J. Mater. Process. Technol.***92–93**:323–328.
- [54] Prihandana GS, Mahardika M, Hamdi M, Mitsui K (2011) Effect of low-frequency vibration on workpiece in EDM processes. *J. Mech. Sci. Technol.***25**(5):1231–1234.
- [55] Uhlmann E, Domingos DC (2013) Investigations on vibration-assisted EDM – Machining of seal slots in high- temperature resistant materials for turbine components. *Procedia CIRP***6**:71–76.
- [56] Sharma, S., Jain, V.K., Shekhar, R. (2002) Electrochemical drilling of Inconel super alloy with acidified sodium chloride electrolyte. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.***19**:492–500.

Қосымша

А.1-кесте Таңдалған элементтердің өсу тәртібінде атомдық нөмірімен атомдық бірлігіне сәйкес символдарымен

Элемент	Шартты белгіленуі	Атом саны	Массаның атомдық бірлігі (аму)	Балқу температурасы (° С)	Тығыздығы (Мг/м ³)(=г/см ³)	Кристалл,*Валенттілігі (көбінесе 20 ° С кезінде)	
Сутек	H	1	1.0078	-259.14	—	—	1 +
Гелий	He	2	4.003	-272.2	—	—	Инертті
Литий	Li	3	6.94	180	0.534	Кцк	1+
Бериллий	Be	4	9.01	1289	1.85	ГТҚ	2+
Бор	B	5	10.81	2103	2.34	—	3+
Көміртек	C	6	12.011	>3500	2.25	Аб	—
Азот	N	7	1.007	-210	—	—	3-
Оттегі	O	8	15.999	-218.4	—	—	2-
Фтор	F	9	19.00	-220	—	—	1-
Неон	Ne	10	20.18	-248.7	—	—	Инертті
Натрий	Na	11	22.99	97.8	0.97	Кцк	1+
Магний	Mg	12	24.31	649	1.74	ГТҚ	2+
Алюминий	Al	13	26.98	660.4	2.70	Гцк	3+
Кремний	Si	14	28.09	1414	2.33	Ка	4+
Фосфор	P	15	30.97	44	1.8	—	5+
Күкірт	S	16	32.06	112.8	2.07	—	2-
Хлор	Cl	17	35.45	-101	—	—	1-
Аргон	Ar	18	39.95	-189.2	—	Гцк	Инертті
Калий	K	19	39.10	63	0.86	Кцк	1+

(жалғасы келесі бетте)

сипаттамалары

А1-кесте (жалғасы)

Элемент	Шартты белгіленуі	Атом саны	Массаның атомдық бірлігі (аму)	Балқу температурасы (° С)	Тығыздығы (Мг/м ³)(=г/см ³)	Кристалл,*Валенттілігі (көбінесе 20 ° С кезінде)	
Кальций	Ca	20	40.08	840	1.54	гцк	2+
Титан	Ti	22	74.90	1668	4.51	гбу	4+
Хром	Cr	24	52.00	1875	7.20	оцк	3+
Марганец	Mn	25	54.94	1246	7.20	—	2+
Темір	Fe	26	55.85	1538	7.88	оцк	2+
						гцк	3+
Кобальт	Co	27	58.93	1494	8.90	гбу	2+
Никель	Ni	28	58.71	1455	8.90	гцк	2+
Мыс	Cu	29	63.54	1084.5	8.92	гцк	1+
Мырыш	Zn	30	65.37	419.6	7.14	гбу	2+
Германий	Ge	32	72.59	937	5.35	ак	4+
Күшала	As	33	74.92	~809	5.73	—	3+
Криптон	Kr	36	83.80	-157	—	гцк	Инертн
Күміс	By	47	107.87	961.9	10.5	гцк	1+
Қалайы	Sn	50	118.69	232	7.3	бст	4+
Сүрме	Sb	51	121.75	630.7	6.7	—	5+
Йод	I	53	126.9	114	4.93	орто	1+
Ксенон	Xe	54	131.3	-112	2.7	гцк	Инертн
Цезий	Cs	55	132.9	28.4	1.9	оцк	1+
Вольфрам	W	74	183.9	3410	19.4	оцк	4+
Алтын	Au	79	197.0	1064.4	19.32	гцк	1+
Сынап	Hg	80	200.6	-38.86	—	—	2+
Цезий	Pb	82	207.2	327.5	11.34	гцк	2+
Уран	U	92	238.0	1133	19	—	4+

ОЦК = көлемді центрленген кубтық; оцт – көлемді центрленген тетрагональді; АК = Кубтық алмаз; ГЦК = гранцентрленген кубтық; ГПУ = гексагональді тығыз қапталған; Шу – Алты бұрышты.

А.2-кесте Жеке металдар мен қорытпалардың (20 °С)қасиеттері

Кейбір металдар мен қорытпалар	Тығыздығы, (мг/м^3) (=г/см ³)	Жылу өткізгіштігі, (Вт / мм ²) / (К / мм)	Сызықтық кеңеюі ($^{\circ}\text{C}^{-1} \times 10^{-6}$)	Меншікті электрлік кедергі, ρ ($\text{Q}\cdot\text{м} \times 10^{-9}$)	Орташа серпімділік модулі, Еав. (МПа)
Алюминий (99.9+)	2.7	0.22	22.5	29	70.000
Алюминий қорытпасы	2.7	0.16	22	45	70.000
Жез (70 Cu-30 Zn)	8.5	0.12	20	62	110.000
Қола (95 Cu-5 Sn)	8.8	0.08	18	100	110.000
Шойын (сұр)	7.15	—	10	—	140.000
Шойын (ақ)	7.7	—	9	660	205.000
Мыс (99.9+)	8.9	0.40	17	17	110.000
Темір (99.9+)	7.88	0.072	11.7	98	205.000
Қорғасын (99+)	11.34	0.033	29	206	14.000
Магний (99+)	1.74	0.16	25	45	45.000
Монель (70 Ni-30 Cu)	8.8	0.025	15	482	180.000
Күміс (стерлинг)	10.4	0.41	18	18	75.000
Болат (1020)	7.86	0.050	11.7	169	205.000
Болат (1040)	7.85	0.048	11.3	171	205.000
Болат (1080)	7.84	0.046	10.8	180	205.000
Тот баспайтын болат 18/8	7.93	0.015	16	700	205.000
Ыстыққа төзімді қорытпа	—	—	—	—	—

А.3-кесте Маңызды шамалар үшін СИ өлшем бірліктері

Мөлшері	СИ-өлшем бірліктер	Мөлшері	СИ-өлшем бірліктер
Үдеу	м/с ²	Масса	кг
Бұрыш	радиан	Қуат	W
Аудан	м ²	Қысым стресс	Пенсильвания
Тығыздық	кг/м ³	Жылу өткізгіштік	Вт / м-К
Энергия	J	Айналу моменті	Н-м
Күш	N	Жылдамдық	Миз
Ұзындық	M	Көлем	м ³

А.4-кесте Стандартты мультипликаторлар және субкөбейткіштер

Префикс	Шартты белгіленуі	Көбейту факторы	Префикс	Шартты белгіленуі	Көбейту факторы
Тера	T	10 ¹²	Мильдер	m	10 ⁻³
Гига	G	10 ⁹	микро	р	10 ⁻⁶
Мега	M	10 ⁶	нано	n	10 ⁻⁹
Кило	K	10 ³	пико	p	10 ⁻¹²
Дей	D	10 ⁻¹	фемтосоттар	f	10 ⁻¹⁵
Сантис	C	10 ⁻²	атто	a	10 ⁻¹⁸

Бақылау сұрақтары

Шешілген сұрақтар

1-сұрақ. Тот баспайтын болат тот баспайтындай ететін не?

Жауабы. Тот баспайтын болатта кемінде 10.5% хром болуы тиіс. Хром - бұл айқын емес, бірақ O_2 мен бетінің одан әрі бояуын (тотығуын) болдырмау үшін жеткілікті күшті хром оксидінің күрделі беттік қабатын түзумен ауадағы O_2 -мен жауап беретін элемент. Хромның жоғары деңгейі және Никель мен Молибден сияқты басқа да легірілеуші элементтерді қосу арқылы үстіңгі қабатты ұлғайтады және тот баспайтын болаттың коррозиялық төзімділігін жақсартады.

2-сұрақ. 18/8, 18/10 және 18/0 ТББ арасындағы айырмашылық неде?

Жауабы. Бірінші сан - тот баспайтын болаттан жасалған хром саны, яғни 18-18% хром. Екінші сан - никель саны, яғни 8 никельдің 8% білдіреді. 18/8 бұл баспайтын болат 18 хром және 8% никель бар дегенді білдіреді. ТББ 18/10-18% хром және 10% никель. Сандар неғұрлым жоғары болса, соғұрлым коррозияға төзімді материал. Және 18/8 және 18/10 никель және тот баспайтын «300 сериясы» отбасының бір бөлігі. ТББ 18/0 18% хром, бірақ нөл никель бар дегенді білдіреді. Никель тот баспайтын отбасы «400 сериясы» 300 сериясы сияқты коррозияға төзімді емес, және магнит 300 сериясы магнитті емес.

3 сұрақ. Тот баспайтын болатты тот басады ма? Не үшін?

Жауабы. Тот баспайтын болатты тот баспайды, сіз ойлағандай, қызыл оксиді бар қарапайым тот баспайтын болатты тот баспайды. Егер сіз қызыл датты көрсеңіз, бұл, бәлкім, тот баспайтын болат бетін ластаған темірдің кейбір бөлшектеріне байланысты.

Тот баспайтын болат пен ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу: дәстүрлі және дәстүрлі емес әдістер, бірінші басылым.

Хельми А. Юсеф.

(С) 2016 Джон Вайлей и Сонс, ЛТД. Жарияланды 2016 Джон Вайлей және Сонс, ЛТД., ЛТД.

Тот көзін қарап, оны бетінен алып тастай аласыз ба? Егер темір жер бетіне енгізілсе, бөлме температурасында 10% азот және 2% плавик қышқылының ерітіндісін немесе сәл қыздырылған ерітіндіні көріңіз. Пайдаланғаннан кейін аймақты көп мөлшерде жуыңыз. Сондай-ақ, коммерциялық қол жетімді «шөп пастасын» пайдалануға болады.

4-сұрақ. 304 және 316 тот баспайтын болат арасындағы айырмашылық қандай?

Жауабы. 304 ТББ құрамында 18% Хром және 8% Никель бар. 316 құрамында 16% Хром, 10% никель және 2% Молибден бар. Молибден хлоридтер коррозиясына қарсы көмектесу үшін қосылады (теңіз суы және мұздануға қарсы тұздар сияқты).

5-сұрақ. Тот баспайтын болат магниттік пе?

Жауабы. Тот баспайтын болаттардың бірнеше түрі бар. 300 сериясы (құрамында никель бар) магнитті емес. 400 сериясы (ол тек Хром және Никельдің болмауы немесе аз мөлшері бар), олар магнитті қасиеттерге ие.

6-сұрақ. Пассивация дегеніміз не?

Жауабы. Хром мөлшері (темір матрицасында) 10,5%-дан асқанда, тез арада күрделі хром оксиді түзіледі, ол оттегінің одан әрі диффузиясын болдырмайды және тот баспайтын болаттың «пассивті» табиғатына және оның тотығуға (немесе коррозияға) тұрақтылығына әкеледі, 10% азот қышқылына химиялық «батыру» және 2% плавик қышқылы ваннасы осы «пассивті» тотықтың дамуын арттырады.

7-сұрақ. Тот баспайтын болатты пісіруге болады ма?

Жауабы. Иә, тот баспайтын болат оңай пісіріледі, әсіресе көміртегі мөлшері 0,03% шектелген болса. Алайда дәнекерлеу процедурасы көміртекті болатпен пайдаланылатыннан ерекшеленеді. Жапсырма өзек (электрод) тот баспайтын болаттан жасалуы тиіс.

8- сұрақ. «L» белгісі дегеніміз не?

Жауабы. Сорттың нөмірінен кейін L әрпін пайдалану, яғни 304 L, көміртек құрамы ең жоғары 0,03% шектелгенін білдіреді (қалыпты деңгейлер 0,08% макс. құрайды, ал кейбір сыныптарда 0,15% макс. жоғары болуы мүмкін). Көміртегінің бұл төмен деңгейі әдетте «дәнекерлеу» орындалатын жерде қолданылады. Көміртегінің төмен деңгейі хромның сарқылуын болдырмауға көмектеседі (дәнекерлеу орнында хром карбидтерінің пайда болуы арқылы), демек, ол тот баспайтын болат коррозиялық төзімділікті беретін «пассивті» тотықты қабатты қалыптастыру үшін оған 10,5% артық қалуға мүмкіндік береді.

9-сұрақ. Тот баспайтын болатты қыздыруға бола ма?

Жауабы. Иә, 300 сериялы тот баспайтын болатты «шыңдауға» болады, бірақ тек «шыңдау» жолымен. Яғни, материалды суық өңдеу, немесе жеңіл және жеңілге дейін суық прокаттау арқылы матрица немесе өлшемнің өзгеруінің басқа операциясы арқылы «созу». Тот баспайтын болатты «күйдіру» беріктендіру әсерін жояды. 400 сериясы тот баспайтын болаттың 2 түрлі құрылымы бар. Олардың бірі «ферритті» деп аталады (409, 430, 434, 439), ол термиялық өңдеуге ұшырауы мүмкін емес. Екіншісі «мартенситті» деп аталады (403, 410, 416, 420 және 440A, B, C), ол термоөңдеу арқылы бекітілуі мүмкін.

10-сұрақ. СБ мазмұнының рециркуляциясы дегеніміз не?

Жауабы. Тот баспайтын болат 100%-ға өңделуі мүмкін. Яғни, барлық тот баспайтын болаттан жаңа тот баспайтын болат жасауға болады. Жаңа тот баспайтын болат өндіру үшін пайдаланылатын қайта өңделген «сынық» тот баспайтын болаттың типтік саны 65%-дан 80%-ға дейін. Көптеген өңдеуші компаниялар әртүрлі СБ сұрыптарын бөлуді қалайды (барлық сериясы 300 бірге және т.б.).

Сұрақ 11. СБ «күйген» жағдайы дегеніміз не?

Жауабы. Тот баспайтын болат әдетте «күйдірілген» күйде сатылады. Бұл материал «жұмсақ» немесе күйдірілген күйде екенін білдіреді. 300 сериялы тот баспайтын болат термиялық өңдеу арқылы (мысалы, көміртекті болат) шыңдалуы мүмкін емес, бірақ суық өңдеу арқылы шыңдалуы мүмкін. Бұл суық жұмыс бастапқы жұмсақ жағдайын қалпына келтіретін жылу өңдеу (күйдіру) арқылы жойылуы мүмкін.

12-сұрақ. «CRES» термині дегеніміз не?

Жауабы. CRES - бұл тот баспайтын болат үшін қолданылады. Ол коррозияға төзімді болатты білдіреді. Бұл, болат шын мәнінде тот баспайтын болат екенін білдіруі міндетті емес, өйткені коррозияға төзімді басқа материалдар бар, бірақ тот баспайтын болат емес.

13-сұрақ. ТББ өте төмен және өте жоғары температураларда қолдануға болады? Жауабы. Иә, тот баспайтын болат температура ауқымының екі шетінде тамаша қасиеттері бар. Тот баспайтын болат сұйық азоттың температурасына төмен және кейбір түрлерге шамамен 1000 °C дейін қолдануға болады.

14-сұрақ. Тот баспайтын болаттан жасалған АТБИ техникалық сипаттамалары қандай?

Жауабы. АТБИ (американдық темір және болат институты) 300 және 400 сериялы есептеу жүйесін құраушы болды (яғни, 304 тот баспайтын болат). Олар сондай-ақ, осы белгілер мен химиялық талдау көрсетілген тот баспайтын болаттан жасалған бұйымдар жөніндегі нұсқаулықты, сондай-ақ әрбір жеке сорттың механикалық және физикалық қасиеттерінің көпшілігін жариялады.

15-сұрақ. Тот баспайтын болатты механикалық өңдеуге бола ма?

Жауабы. Иә. Алайда тот баспайтын болаттың стандартты сорттары әдетте «шайырлы» болып табылады және өңдеу немесе өңдеу кезінде таза жоңқаларды бермейді. Бұл мәселені шешу үшін көптеген компаниялар тот баспайтын болаттың «тот баспайтын» сорттарын шығарады, онда олар матрицаға «жоңқақопырғыш» қосады. 303 сорты механикалық өңдеусіз 304-тің баламасы болып табылады.

16-сұрақ. СБ негізгі (стандартты) балқымаларды анықтау және сипаттау?

Жауабы. Олар феррит, мартенсит және аустениттік тот баспайтын болат ретінде жіктеледі. Феррит көміртегінің төмен пайызы бар (0,08% C), сондықтан ол термоөңдеу жолымен расталуы мүмкін емес және жұмыс кезінде ғана расталуы мүмкін. Оларды коррозияға төзімді ету үшін 14% Cr және 0,45% Mn қосады. Олар қасық, шанышқы және т.б. үшін пайдаланылады. Мартенсит тот баспайтын болаттан көміртек көп (>0.4% C, 13% Cr және 0.5% Mn). Көміртегінің жоғары құрамының арқасында, бұл термиялық өңдеу арқылы нығыздалуы мүмкін және жүзді аспаптар, сондай-ақ кесетін құралдар үшін пайдаланылады. Аустениттік тот баспайтын болаттан 0.1% C, 18% Cr және 8% Ni бар. Олар термиялық өңдеу арқылы шыңдала алмайды және тек шыңдауға ғана әрекет береді. Олар магнитті емес.

17-сұрақ. Еркін өңдеуге арналған балқымалар қазіргі уақытта дуплекс-немесе РН-ТББ-та қол жетімсіз болатын себептерді келтіріңіз?

Жауабы. Бұл дуплексті балқымалардың жақсы коррозиялық төзімділігімен ерекшеленеді, бірақ біршама аз ыстық өңдеуі бар. Екі сипатты нашарлататын еркін өңдеу элементтерін қосу жағымсыз болар еді. Сондай-ақ, РН балқымалары жоғары беріктілік деңгейінде жақсы соққы тұтқырлығымен ерекшеленеді, бұл соққы тұтқырлығы мен беріктігін нашарлататын еркін жабысатын элементті қосу қажетсіз етеді.

18-сұрақ. Тот баспайтын болаттан пассивация кезінде флэш-шабуыл дегеніміз не және неге ол жүреді?

Жауабы. Флэш-шабуыл - қатты тегістелген немесе қараңғыланған беткі қабатты білдіреді. Бұл пассивация алдында бөлшектерді асықпай тазалау нәтижесінде пассивациялық ваннаның ластануы салдарынан болады.

19-сұрақ. Механикалық өңдеусіз элементтерді қосу кезінде СБ қандай қасиеттері нашарлайды?

Жауабы. Осы элементтерді қосу есебінен жақсартылған өңдеу артықшылығына, әрине, тот баспайтын болаттардың басқа да төмендегідей маңызды қасиеттерін нашарлатпай қол жеткізілмейді:

- * Коррозияға төзімділігі
- * Беріктігі, икемділігі және тығыздығы
- * Ыстық өңделушілік
- * Суық қалыптылық
- * Дәнекерлеу
- * Өңдеудің жақсаруы нашарлау қасиеттерінің, әсіресе коррозияға төзімділігінің төмендеуі мүмкін теңдестірілген болуы тиіс.

20-сұрақ. S және Se СБ-да еркін өңдеу қоспалар ретінде ажыратады.

Жауабы. Se-бұл MnSe қосылуын құрайтын тот баспайтын болаттан жасалған S өңдеуден кейін әдетте қолданылатын басқа агент, сульфидтерге ұқсас. Күкірт Еуропада пайдаланылады, ал Se жиі АҚШ-та қолданылады. Se тот баспайтын болат өңдеудің жалпы сипаттамаларын жақсарту үшін S эквивалентті салмақтық пайызынан төмен тиімді. Алайда, Se-мойынтірек балқымалары S-мойынтірек балқымасынан жақсы өңдеуді қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, мойынтіректі тот баспайтын болат салқын күйде жақсартылған қалыптылықты және тиісті S- мойынтіректі балқымалармен салыстырғанда бірнеше жақсы коррозиялық төзімділікті ұсына алады. Se қоспалары, сондай-ақ S-құрамында көп мөлшерде және одан да көп шар тәрізді сульфидтердің түзілуіне арналған балқымалар қолданылады, олар өңдеу үшін пайдалы.

21-сұрақ. Ыстыққа төзімді қорытпаны анықтау.

Жауабы. Ыстыққа төзімді қорытпалар жоғары механикалық беріктікті, иілгіштікті, жоғары жұмыс температураларында сырғуға беріктікті, жоғары төзім беріктігін және, әдетте, жоғары температураларда коррозияға және тотығуға жоғары төзімділікті көрсететін материалдардың салыстырмалы жаңа сыныбы болып табылады. Бұл сипаттамалар ыстыққа төзімді қорытпаларды әуе кемелерінде, су асты қайықтарында, ядролық реакторларда, металдың ыстық қызметіне арналған плашкаларда және петрохимиялық жабдықтарда қолдануға тамаша етеді. Барлық қосымшалар жоғары температуралық беріктікті талап етпейді. Олардың коррозиялық төзімділігімен жоғары берік жалғанған ыстыққа төзімді қорытпаның материалдары биомедициналық бірлескен имплантаттар және криогендік қолданулар үшін стандартты болды.

22-сұрақ. Негізгі топтар бойынша ыстыққа төзімді қорытпаларды жіктеңіз.

Жауабы. Бұл балқымалар әдетте үш негізгі топқа бөлінеді: Fe, Ni және Co негізіндегі балқымалар. Әрбір топтың физикалық-механикалық және механикалық сипаттамалары балқыманың химиялық құрамына және өндіріс процесінде алынатын металлургиялық өңдеуге байланысты айтарлықтай өзгереді. Ыстыққа төзімді қорытпалар әдетте сауда атаулары немесе арнайы нөмірлеу жүйелері бойынша сәйкестендіріледі.

23-сұрақ. Ni, Co, Mo, Cr, Al, Si, және C ыстыққа төзімді пластардағы келесі легірлеуші элементтердің міндеті қандай?

Жауабы. Ыстыққа төзімді қорытпалар әдетте Ni, Cr, Co, Mo және Fe негізгі легірлеуші элементтер ретінде бар. Басқалары - Al, W, Ti және т.б. Бұл легірлеуші элементтердің рөлі ыстыққа төзімді қорытпалардың спаттамасын келесідей:

- * Ni жоғары температураларда балқыманың құрылымы мен қасиеттерін тұрақтандырады.
- * Co, Mo және W жоғары температурада беріктігін арттырады.
- Cr, Al, Si тотығуға төзімділікті арттырады және жоғары температуралы коррозияны қамта масыз етеді.
- * C ұшқынға беріктікті арттырады.

24-сұрақ. Кескіш тот баспайтын болат лазер немесе су ағатын қосқыш арасындағы айырмашылық неде?

Жауабы. Ең негізгі айырмашылықтарды (i) термиялық әсер ету аймақтарында көруге болады, лазерлік кесу бар, ал гидроабразивтіде - жоқ. (ii) лазерлік кесу әдетте қалыңдығы 15 мм дейін тот баспайтын болат. (iii) лазерлік кесу үшін қатаң рұқсатнамалары бар, сондықтан сіздің бөлшектің күрделі конструкциясы бар және оның қалыңдығы 15 мм кем болса, онда лазерлік кесу мінсіз таңдау болып табылады.

25-сұрақ. Лазерлік кесу сияқты абразивті-ағынды кесу бағасы бірдей ма?

Жауабы. Жоқ, су ағызу кесу шын мәнінде қымбат процесс. Бұл шығыс материалының көп санымен бірге баяу өңдеу қарқынымен байланысты. Бірнеше кескіш бастиектер, пішудің тығыз мүмкіншіліктері және кейбір материалдарды салу мүмкіндігі осы қосымша шығындарды өтеуге көмектеседі, жалпы алғанда, абразивті-ағынды кесу лазерлік кесуге қарағанда қымбат процесс болып табылады.

26-сұрақ. Титанды кесуге болады ма?

Жауабы. Иә, абразивті-ағынды кесу - титан кесу үшін тамаша процесс.

27-сұрақ. Су ағынын кесу арқылы материалының қалыңдығы қандай?

Жауабы. Су ағатын абразив 0,015 мм-ден 300 мм-ге дейін материалдарды кесе алады.

28-сұрақ. Шыңдалған металдарды абразивті-ағынды кесу?

Жауабы. Иә, ол С. Роквелл бойынша 20-дан 70-ке дейінгі ауқымда шыңдалған металдарды өңдеу үшін пайдаланылуы мүмкін.

29-сұрақ. Гидроабразивті кесу шектеулері қандай?

Жауабы. Біз су ағатын кесуді пайдаланбайтын төрт материал: вольфрам, вольфрам карбиді, қорғасын және бериллий мыс. Вольфрам - өте қатты материал, ал бериллий мысы ауаға улы бериллий бөледі. Осыған байланысты бұл материалдар, біз су ағынымен өңдемейміз.

30-сұрақ. Абразивті-ағынды кесу кезінде қандай түр қолданылады?

Жауабы. Гранат-бұл ең жиі қолданылатын Абразив үшін гидроабразивті кесу. Абразив абразивті-ағынды кесу ең қымбат заттардың бірі болғандықтан, анар жақсы таңдау болып табылады, өйткені ол ең қымбат нұсқалардың бірі.

31-сұрақ. Қандай материалдарды лазермен кесуге болады?

Жауабы. Біз тот баспайтын болат, Хастеллой, алюминий, және көміртекті болат сияқты әртүрлі материалдарды өңдеу үшін лазерлі кесуге болады.

32-сұрақ. Сіз абразивті-ағынды кесу сипаттай аласыз ба?

Жауабы. Біз, гидроабразивті кесу көп жылдан бері бар екенін білеміз. Процесс сансыз материалдарды кесу құралы болып табылады, дәстүрлі өңдеу әдістеріне қарағанда әлдеқайда жылдам және әлдеқайда жоғары сапалы. Су ағынының тот баспайтын болат, титан, легирленген болат сияқты материалдарды оңай өңдеуге мүмкіндігі бар. Гидроабразивті кесу ең жағымды, оның термиялық әсер ету аймағы жоқ. Бұл дегеніміз, металдарды қатырмайды және бөлшектермен одан әрі жұмыс істеуді қалдырмай кесу процесінде қандай да бір жолмен зақымдалмайды. Бұл ретте гидроабразивті кесудің екі түрі бар: абразивті - ағынды кесу және тек сумен кесу (сондай-ақ таза гидроабразивті кескіш ретінде белгілі). Тек сумен кесу кезінде кесу ағыны материалды бұзады. Бірақ абразивті-ағынды кесу кезінде абразивті бөлшектер материалды тездетуден кейін су ағыны арқылы жылжытады. Бұл процесс тек сумен кесуге қарағанда әлдеқайда күшті. Абразив жиі кішкентай гранат бөлшектерінен тұрады. Бөлшектер абразивтің үйіндісі түрінде басталады және араластырғыш камераға түсу үшін түтіктер арқылы жеткізіледі. Сол жерден абразив сумен араласады және олар сопло арқылы тез сыртқа шығарылады. Сопло тек тегіс шеттері бар нақты кесулерді алу үшін кесу ағынын жасайды.

33-сұрақ. Майлау-суыту сұйықтықтарының негізгі функциялары қандай? Жауабы. Кесу сұйықтықтары әдетте механикалық өңдеу операциялары үшін қолданылады, негізінен мыналар үшін:

- * құралдың қызмет мерзімін ұзарту және бетінің дәлдігі мен тазалығын арттыру үшін кесу аймағын суыту;
- * үйкелісті азайту және, тиісінше, құралдың тозуы, кесу күші және қуат тұтынылатын;
- * жоңқалар мен жоңқаларды шайыңыз;
- * машинаны коррозиядан қорғаңыз;
- * аспапта ТЖ түзілуін бақылау.

Майлау немесе суыту сұйықтығы болып табылатын майлау-суыту сұйықтығының әсері негізінен температураға байланысты, демек кесу операциясы түріне және кесу жылдамдығына байланысты.

34-сұрақ. Дұрыс майлау-суыту сұйықтығының сипаттамалары қандай?

Жауабы. Тиісті майлау-суыту сұйықтығы сипатталуы тиіс:

- * Жоғары ыстықтың абсорбциялық қабілеті
- * Жақсы майлау сапасы
- * Жоғары жарқыл температурасы.
- * Жоғары химиялық төзімділік

- * Ыстық беттермен түйіскен кезде шығатын будың болмауы
- * Биологиялық және экологиялық қауіптер аз
- * Дайындамаға және бағыттаушы станоктарға коррозиялық әсердің болмауы
- * Қол жетімді және арзан.

Шешілмеген сұрақтар

1. Тот баспайтын болат өңдеу жақсарту үшін пайдаланылатын әртүрлі қоспалардың кейбірі қандай?
2. S және Se келесі аспектілерге қатысты тот баспайтын болаттарды еркін өңдеуге арналған қоспалар ретінде ажыратады: өңдеу, бетін өңдеу, суық қалыптау, дәнекерлеу және коррозияға төзімділік.
3. Механикалық өңдеусіз тот баспайтын болат деп не түсінесіз? СБ жасау үшін әдетте қандай элементтер қосылады және олар болатты еркін кесу қалай жасайды?
4. Неге ферритті СБ және аустенитті СБ шыңдауға жауап бермейді?
5. Тот баспайтын болат балқымаларын анықтаңыз және сипаттаңыз.
6. Сіз қандай СБ ұсынар едіңіз:
 - * Өте жоғары беріктігі
 - * Қаттылық және беріктілік
 - * Жақсы дәнекерлеу
 - * Агрессивті орта
 - * Жақсы өңдеу
7. Оларды өңдеуді қиындататын СБ ерекше қасиеттері қандай?
8. СБ өңдеу кезінде дәстүрлі түрде ескерілуі тиіс жалпы ережелер қандай?
9. Сіз дәстүрлі өңдеу орнына СБ өңдеу үшін дәстүрлі емес өңдеу шарттарын ұсынасыз?
10. Тот баспайтын болатты таңдау кезінде неге ферритті СБ ескеру керек?
11. Неге мартенситті СБ агрессивті орта әсер етуі мүмкін?
12. Дуплексті тот баспайтын болат дегеніміз не?
13. СБ сенсбилизациясы дегеніміз не және оны қалай алдын алуға болады?
14. Тот баспайтын болат өңдеу кезінде қандай құрал-саймандық материалдар қолданылады?

15. Тот баспайтын болаттардың өңделуін арттыру үшін қолданылатын екі ең көп таралған элемент қандай?
16. Феррит, мартенсит және аустениттік тот баспайтын болатарды ажыратады.
17. Mn-аустениттік СБ қандай және олар қандай ерекше қасиеттерге ие?
18. Үш класты РН-СБ сипаттаңыз.
19. АТБИ-304 диаметрі 6 мм және тереңдігі 25 мм тесіктерді бұрғылау қажет. Айналырғының жылдамдығын (айн / мин), беруді (мм / мин), бұрғылау уақытын (мин) және егер үлестік кесу энергиясы $СБ = 63700 \text{ Н} / \text{мм}^2$ болса тұтынылатын қуатты есептеңіз. Сатудағы жабдықтар үшін ұсынылатын мәндердің мүмкін еместігін тексеріңіз.
20. Бұрғыштың енуіне қарапайым тест арқылы өңдеу мүмкіндігін қалай тез бағалауға болатынын сипаттаңыз.
21. Кесу қуатын өлшеу арқылы материалдың өңдеуін қалай бағалауға болатынын сипаттаңыз.
22. СБ маркаларын еркін өңдеудің кемшіліктері қандай?
23. [Y] және жалған пікірлер үшін [X] белгілеңіз
- Аустенитті қатты бөлшектер магнитті емес және термиялық өңдеумен қатырылған.
 - РН-СБ термоөңдеу кезінде шындалады.
 - Мартенсит балқымасы РН-СБ классының бірі болып табылады.
 - Феррит балқымасы РН-СБ түрлерінің бірі болып табылады.
 - СБ феррит маркалары тек қана суық өңдеу кезінде шындалуы мүмкін.
 - ЖКБ және қатты балқитын құралдар СБ өңдеу кезінде кеңінен қолданылады.
 - ЖКБ құралдары СА өңдеу үшін сирек қолданылады. Олар тек үзік тіліктер үшін пайдаланылуы мүмкін.
 - ЖКБ тарту СА және СБ тарту үшін қолданылады.
 - ЖКБ бұрғылары мен фрезаларын СА өңдеу үшін пайдалануға болмайды.
 - КНБ болатты өңдеу үшін алмаздан жақсы.
 - Тегістеу фрезерлеу операциясымен бірге жүруі мүмкін.
24. Тот баспайтын болаттан пайда болуы мүмкін коррозия түрлерін түсіндіріңіз.
25. Қазіргі заманғы өнеркәсіп салаларында дәстүрлі емес өңдеу қажеттілігін негіздеңіз.
26. Дәстүрлі өңдеу процестерінің негізгі шектеулері қандай?
27. Дәстүрлі емес өңдеу процестері жіктелетін негізгі факторлар қандай? Түсіндіріңіз.
28. Әдетте өнеркәсіпте қолданылатын бес дәстүрлі өңдеу процестерін атаңыз.

29. Дәстүрлі емес өңдеу процестері дәстүрлі өңдеу процестерімен салыстырғанда материалды жою жылдамдығының төмендігін береді, бірақ олар кең танымал болды. Неге екенін талқылаңыз.
30. Әдетте оларды дәстүрлі емес өңдеу процестері деп атайды. Бұл процестерде дәстүрлі емесі не? Түсіндіріңіз
31. Материалды ЭСӨ мен ЛСӨ-ге алып тастаудың негізгі механизмін сипаттаңыз.
32. ЭСӨ және ЛСӨ жабдықтарының негізгі компоненттерін анықтаңыз.
33. ЭСӨ және ЛСӨ жабдықтарының жұмыс істеу принципін көрсетіңіз.
34. ЭСӨ және ЛСӨ жабдықтарын схемалық сызыңыз.
35. ЭСӨ және ЛСӨ процесінің параметрлерін анықтаңыз.
36. ЭСӨ мен ЛСӨ-нің үш қолдануын атаңыз.
37. ЭЛО мен ЛОЛДЫҢ үш шектеулерін атаңыз.
38. Дұрыс жауапты таңдаңыз:
- (а) материалды ЭЛО-да жою механизмі:
- (i) жоғары энергетикалық электрондардың әсері салдарынан механикалық эрозия.
 - (ii) жоғары энергияны электронмен химиялық өңдеу.
 - (iii) жоғары энергия электрондарының есебінен бүрку.
 - (iv) жоғары энергия электронының жылу әсері есебінен балқыту және булану.
- (b) ЛСӨ-де материалды жою механизмі:
- (i) жоғары энергетикалық фотондардың әсері салдарынан механикалық эрозия.
 - (ii) электрохимиялық өңдеу.
 - (iii) жоғары энергетикалық лазерлік сәуленің жылулылық әсері есебінен балқыту және булану.
 - (iv) шаршау бұзылуы.
- (c) әдетте электронды-сәулелік тапанша жұмыс істейді:
- (i) атмосфералық қысым.
 - (ii) атмосфералық қысымнан 1,2 бар жоғары қысымда. (iii) 10-100 мторр. қысымда.
 - (iv) 0,01-0,001 мторр. қысымы кезінде.
39. Тот баспайтын болаттан жасалған қандай қоспаларды өз бетінше өңдеуге болады?
40. Әдетте ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу сипаттамаларына әсер ететін негізгі факторлар қандай?
41. Ыстыққа төзімді қорытпаларды өңдеу кезінде сақталуға тиіс тәжірибелік басқару принциптері қандай?

42. Ыстыққа төзімді қорытпаларды созу кезінде қандай ойларды сақтау керек?

43. Ыстыққа төзімді қорытпалар мен баяу балқитын металдар бар. Неге соңғысы авиацияда кеңінен қолданылмайды?

44. Ыстыққа төзімді қорытпалардың әрбір негізгі тобының бес түрлі түрлерін нөмірлеңіз.

45. ЖКБ-да қолданылатын маңызды легірлеуші элементтерді атаңыз. Олар неге пайдаланылатынын түсіндіріңіз.

46. Керамикамен өңдеу кезінде қандай сақтық шаралары қолданылады?

47. СХҰ-стандартына сәйкес қатты балқитын құралдарды жіктеу.

48. Келесі материалдарды өңдеу кезінде кесу құралы ретінде пайдалану үшін керамиканың жарамдылығын талқылаңыз:

* Баспайтын болат * Ыстыққа төзімді қорытпалар * Алюминий * Титан

49. Неге керамика үзік тіліктер үшін қолайлы емес?

50. Материалдың өңделуін анықтаңыз. Оны бағалау үшін қандай бағалар қолданылады?

51. КҚӨ материалдарының өңдеуін жақсартатын маңызды әдістер қандай?

52. ЖКБ дегеніміз не екенін түсіндіріңіз. Оның негізгі мақсаты қандай?

53. ЖКБ байланысты микросхемалардың негізгі түрлерін талқылаңыз.

54. ЖКБ-да қолданылатын кесу құралдарының негізгі ұсыныстары қандай? ЖКБ ыстыққа төзімді қорытпалар және титан балқымалары үшін тиісті құралдар материалдарын таңдаңыз.

55. ЖКБ артықшылықтары мен шектеулері қандай?

56. Құралдың қызмет ету мерзімі төмен кесу жылдамдығымен дерлік шексіз болуы мүмкін. Сонда сіз барлық механикалық өңдеуді төмен жылдамдықпен ұсынасыз ба? Түсіндіріңіз.

57. ЖКБ үшін кесу жылдамдығының әсерін талқылаңыз:

- * Кесу күші
- * Кесу температурасы
- * Бетін өңдеу

58. Дәстүрлі өңдеу салыстырғанда УДӨ кезінде құралдың тозуы неге төмен екенін дәлелдеңіз.

59.Төмен беріктігі бар болат емес, тот баспайтын болат және ыстыққа төзімді қорытпа сияқты DTC материалдарын өңдеу кезінде суытудың алдыңғы қатарлы әдістерінің маңыздылығын түсіндіріңіз.

60.Криогендік суытуды анықтаңыз.

61.КМС әдісін анықтаңыз. Бұл жағдайда ағынның шығынына қатысты не күтесіз.

62.Кесу құралының материалдарын криогендік өңдеуді анықтаңыз. Криогендік өңделген жылдам кескіш болат пен қатты балқитын құрал-сайманның әдеттегі салыстырғанда артықшылықтары неде?

63.Кескіш құралдың мінсіз материалының негізгі сипаттамалары қандай?

64.Металл керамика дегеніміз не?

65.КНБ дегеніміз не?

66.ЖКБ-да W маңызды ауыстыру ретінде Mo рөлін талқылау?

67.Карбидтерді кесудегі WC, TiC, TaC және Co рөлін және олардың қатты балқыма ұштықтардың қасиеттеріне әсерін талқылаңыз.

68.ПМ-ЖКБ артықшылықтары мен шектеулері қандай?

Құралдық материалдар ретінде Satellites және UCON арасындағы айырмашылық.

Көрсеткіш

19-9 DL (UNSK63198) ыстыққа төзімді қорытпа 29, 33, 35, 122-4

А-А-А (сілті-қышқыл-сілті), 116-17
пассивтеуші ем, ДЕӨП 6-9, 141-2 үйкеу, 6-9, 114, 159-60 үш метил фосфаттарды үйкеу, 7-9, 142, 146-7, 175-6, 181-3, 213 қажакты ағынмен өңдеу (ҚАӨ), 6-9, 142-6, 174-6, 179-83 ағынды-қажакты өңдеу (АҚӨ), 147-51 қажакты суспензия, 6-9, 142-6, 174-6, 179-83 қажакты-су ағынымен өңдеу (ҚСАӨ), 257-8 акустикалық рупорлар, ҚАҚ 148, 150 жетекші суыту технологиялары, өңделімділігі жоғарылату әдістері 50-1, 61-3, 222 авиациялық моторлар 3, 4, 34-41, 53-60, 75-81, 141, 180-217, 256-7
Айрезист 13 ыстыққа төзімді қорытпа 32, 34, 121-4
Айрезист 213 ыстыққа төзімді қорытпа 29, 34, 40, 122-4
Айрезист 215 ыстыққа төзімді қорытпа 34, 122-4
аэродинамикалық беттер 187-8
AISI 1045 62-3
AISI 4130 125
AISI 4340 56-9

AISI 11-26, 31-3, 44-50, 51, 66, 121-4, 255 белгілену жүйесі *сондай-ақ тот баспайтын болатты қар...*
АИМҚ-200 12, 16-26, 99, 103, 200-17 АИМҚ-215 200-17 сериялары
АИМҚ-300 2-3, 11-12, 16-26, 51-2, 94-105, 108, 116-17, 126, 179-217, 222-45 сериялары
АИМҚ-301 18, 25, 200-17 АИМҚ-302 12, 16-26, 102-3, 115, 117, 184-217 АИМҚ-303 2-3, 17-26, 94-103, 116, 117, 126, 184-217, 222-45 АИМҚ-304 16-26, 95, 98-105, 115, 117, 126, 180-217, 222-45
АИМҚ-316 11-12, 16-26, 98-105, 117, 179-217, 222-45
АИМҚ-321 17-26, 103, 105-6, 115, 194-217, 245 АИМҚ-347 17-26, 99-103, 200-17 АИМҚ-400 series 2-3, 13-26, 52, 94-102, 103, 179-217, 228-45
АИМҚ-410 15-26, 98-102, 103, 117, 184-217
АИМҚ-414 15-26, 100-2, 194-217, 228-45
АИМҚ-420 15-26, 99-103, 116-17, 200-17
АИМҚ-430 2-3, 13-26, 98-102, 116-17, 200-17
АИМҚ-1212 121-4

Обработка нержавеющей сталей и супер сплавов: традиционные и нетрадиционные методы, бірінші басылым. Хельми А. Юсеф.

© 2016 John Wiley & Sons, Ltd. Published 2016 by John Wiley & Sons, Ltd.

АИМҚ-В1112 өңделетін эталонды материал
45-50, 102-3 АІ-2017 191-3
Алюминий қорытпасы 3, 50, 51, 54, 55-9, 77, 83-91,
161, 190-3, 250 Кремнийдің
алюминий қорытпасы 59, 75 алюминий
тотығы 73-6, 90-1, 168 тот баспайтын
болаттардың бактерияға қарсы
қасиеттері 4 Арголоттекті
көміртексіздену (АОК) 12
ARTEsolSuperEPy 226-7 жасанды нейрон
желілері (ЖНЖ) 230 асбест 145-6
ASTMA967 117
Астролой супер қорытпа 30, 33, 37-9, 122-4,
185-217 ATAVAX 77
атом массалары, элементтері 249-50 атом
нөмірлері, элементі 249-50 аустенитті PH-SS
23-6, 97-8, 102, 115 аустенитті тот баспайтын
болаттар 6, 11-26, 31-41, 76-81, 94-117, 180-
217, 222-45 автокөлік өнеркәсібі 53-4

В-1900 ыстыққа төзімді қорытпа 32, 34, 122-4
артқы тырмалар геометриясы 130-40, 223-45
шарлы мойынтіректі болаты 103
тот баспайтын болаттың негізгі қорытпалары,
концепциялар 13-22, 23-6
бериллий-мыс қорытпасы 257
биомедициналық буын протездері 27
висмут (Bi) 51-2, 95-117
қалақталған диск 191-3, 211-13
байланысқан қажақтар 6-9
Боразон 127-40, 196
бұрғылау 7-9, 79-80, 88
бор (B) 37-41, 58-61, 64, 65, 74-5, 180-3 жез
46, 188, 199-201, 244-5, 250 тарту 6-9, 76-8,
83-91, 112-15, 125, 137-9 қола 54, 68, 75, 250
тегістеу 7-9
кескіштегі өсіңкі жер (КӨЖ) 2, 43-52, 68, 74,
77, 81-91, 100-17, 126-40, 222-30, 233-4, 242-5
қылаулар 6, 101-2, 159-60, 175-6, 179-217
бензодиазепин 74-5

С-263 ыстыққа төзімді қорытпа 33, 122-4
кальций-фосфорлы болат 51-2 қылтүтіккі
бұрғылау қатты қорытпалы пісірілген ұңғы
80, 103-4, 110-11, 133, 231-45 қар.
карбид 1-2, 6-9, 12, 20-1, 39-40, 46, 58-81,
86-7, 101-40, 142-6, 180-3, 222-45

көміртекті нанотүтік (КНТ) 243-4
карборундты дөңгелектер 114 Карпентер -
AKSteelCorp. сауда таңбасы, 112-15 шойын
(сұр) 68, 75, 250 шойын (ақ) 68, 75, 250 түсті
қорытпаларды құю 65-6, 67-8 құйылған
супер қорытпалар 27-41, 120-40
цементтелген карбидтер 69-73, 75-81
цементит 65-7
керамика 1-2, 6-9, 46, 58-9, 63-6, 73-81, 127,
141-83, 207, 223-30, 233-45 керметтер 65, 73,
223-30 сипаттамалары, элементтері 44-91,
93-117, 249-50
діріл 2, 9-10, 52, 101-17 химиялық ерітудің
тозуы 59-60 химиялық өңдеу (ХИМО) 6-9,
142, 160-3, 174-6, 183-201
химиялық ұсақтау (ХИМ-ұсақтау) 160-2,
174-6, 196-9, 202
химиялық газфазалы тұндыру
технологиясының әдістері (ГТТ) 67, 72-3, 75,
228-30 жоңқа сынықтары 43-50, 55-7, 62-3,
83-91, 104-17, 119-40
жоңқаны алып тастау критерийлері 43-50,
55-7, 94-5, 106-17
жоңқаның түзілуі 2, 6-9, 13, 43-91, 100-17,
119-40
жоңқаны шайып тастау 61, 81-91 хлорид 11-
12, 18-26, 40, 116-17 қажалуға қарсы
хлорланған майлар 83, 85-8, 89-91 хром
оксиді 3-4, 114-17 Цинциннати Әмбебап
жону білдегі 237-8 механикалық өңдеу
процестерін жіктеу 6-10 жолай жону 133-4
CMSX-2 супер қорытпа 34 CMSX-4 супер
қорытпа 32, 34, 202-17, 239-45 CMSX-6
супер қорытпа 34 CMSX-10 супер қорытпа
32, 34 CNC-жонғыш білдек 228-30, 234-5,
243 Кобальт негізіндегі супер қорытпалар 4,
27-41, 60, 79-81, 88-91, 119-40, 185-217, 231-
45, 257 жабыны бар карбидтер, кескіш
құралдың материалдары 77-9, 104-17, 127-40,
223-38 coatings 28, 59-60, 62, 67-81, 84-91,
126-40, 207-17, 223-30, 233-45 салыстырмалы
сипаттамалар, тот баспайтын болат 23-6, 100-
2 композиттер 1-2, 6-9, 179-83 суыту әдістері
50-1, 61-3, 71-3, 81-91, 127-40, 225-30, 242,
257-8

- жемірілуге төзімділік 1-4, 11-13, 14-26, 27-41, 81-91, 93-117, 245, 253-4 корундты дөңгелектер 114
- ойық түрінде тозу 52, 59-63, 73-4, 101-17, 126-40 сырғымалы берумен ажарлау (СБА) 1-2 жоғары температураларда сусымалылық кедергісі 4, 27-41, 120-40, 231-45, 256 саңылаулы жемірілу 11-12, 116-17 Хром нитридінің жабындары 237-9 криогендік пайдалану 27 криогендік суыту әдістері 50-1, 61-3, 83-91, 222
- криогендік өңдеуге арналған құра 50-1, 63, 222 кристалдың 20С кезіндегі сипаттамалары, 249-50 элементтері, мыс қорытпалары 75, 161, 196-7 бордың кубтық нитриді (БКН) 58-61, 64, 65, 74-81, 127-30, 139-40, 159-60, 168 450 24 Пайдаланушы, 455 24, 115
- Пайдаланушы, 465 117 Пайдаланушы, 630 117, 184-217 Пайдаланушы, Пайдалану жасы 625 PLUSsuperalloy 33 Пайдаланушы Фло 302 HQ 117 кескіш (уатқыш) құрал 2-10, 43-92, 103-17, 5 40, 207-17, 222-45
- майлайтын-суытатын сұйықтықтар 9-10, 44-50, 60-3, 81-91, 104-17, 127-40, 222, 225-30, 242, 257-8
- бет тазалығына қойылатын талаптар 82, 88-9, 115, типтер 82-4, 85-91, 112, 257-8, кесу күші /айнымалы шығу қуаты 9-10, 44-91, 119-40, 222-45, кесу күші, кесу жылдамдығы 57-9, 222-30, 76-8 форманы кесіп, бұрау, кесу параметрлері 9-10, 44-50 кесу жылдамдығы (v) 2, 9-10, 45-91, 98-117, 6 40, 180-217, 222-45
- АМБ 57-9 шығуға әсері, 120-4, 222-45 құралдың тозуы 59, 61, 120-4, 223-45 кесу температурасы, кесу жылдамдығы 58-9, 222-30
- кескіш құралдың қысқышы 45-50, 71-91, 101-17, 131-40
- кескіш құралдың материалдары 45-50, 58-60, 63-81, 103-17, 119-40, 222-45
- терең бұрғылау 87-8, 109-17, 130-3, 202, 210, 214-15, 239-45 белгілі геометриясы бар ДӨП 6-9 майсыздандыратын ерітінділер 114-15
- тіліктердің тереңдігі (t) 45-91, 105-17, 127-40, 226-45 тот баспайтын болаттардың шығу тектері 13, 22-6 диамант 1-2, 58-9, 63-4, 65, 74-5, 168 қиын өңделетін материалдар (ҚӨМ) 1-4, 50-81, 179-83, 221-2, 240-5
- диффузиялық-шектелген тозу 59-60 тұрақты токпен электрхимиялық өңдеу (ТТЭХӨ) 191-3
- Дискалоу (UNSK66220) суперкорытпа 30-1, 33, 35, 121-4
- бұрғылау 1-2, 6-9, 76-8, 80, 87-91, 94-117, 125, 130-3, 203-17, 231-45 дуплексті тот баспайтын болаттар 12-13, 21, 22-6, 76-81, 97-8, 101-3, 105-17, 256 дюралоуминий 46 DyneticsD080 183
- 9-10 шығу айнымалыларының экологиялық аспектілері 9-10 жасушадан тыс матрикстің және турбомашиналардың термоэлектрлік өнеркәсіптік емес ағаш материалының жоспарларын экономикалық талдау 211-13 электр-разрядты жону 204-6, 243-5 электррозиялық өңдеу (ЭЭӨ) 6-9, 141-2, 151, 158, 164-5, 174-6, 180, 201-7, 211-15, 240-5
- металдардың/қорытпалардың электр кедергісінің қасиеттері 250-1
- электр-ағын (ЭА) 158-9, 196, 214, 245, 142, 159-60, 174, 196-7 гибриді процесті электрхимиялық ұсақтау (ЭХҰ) 6-9, 141-2, 151-62, 174-6, 180, 183-201, 211-17, 245
- электродтардың тозу жылдамдығы (ЭТЖ) 242-5 электролиттер 151-62, 175-6, 183-201 электрондық-сәулелі өңдеу (ЭСӨ) 6-9, 166-9, 174-6, 206-7, 214, 240-5 тот баспайтын болатты жақсартып өңдеу 102 экологиялық факторлар 51, 61-3, 82, 83, 96, 117, 166-7, 257
- эрозиялық өнеркәсіптік емес орманды басқару жоспарлары 6-9, 141-2, 164-76 ESAPAutomationLtd 145 улағыштар 7-9, 142, 161-4, 174-6, 196-201, 242-5
- экцимерлі лазерлер 169-72 экзотикалық материалдар 5, 210
- металдардың/қорытпалардың кеңею қасиеттері 2, 44-50, 250-1
- экстремалды қысым (ЭК) 83, 85-8
- Фарадея теңдеуі 151-2, 156, 183-93 қажу кедергісімен беріктігі 12, 27-41, 64-91, 227-45, 256-7

майлы майлар, 83, 87 анықтау, энергияның қазба көздері негізіндегі суперқорытпалар 4, 27-41, 77-81, 119-40, 185-217, 257
беру жылдамдығы (с) 45-91, 98-117, 120-40, 189-217, 222-45
темір хлориді 200-1
тот баспайтын болаттың ферритті қорытпалары 2-3, 13-26, 52, 76-81, 94-117
ферритті-аустенитті дуплексті қорытпа 21, 22-6 кескіш құралдың кара металдарға арналған материалдары 65-81
композициялық материал, талшықтармен арматураланған 1-2, 6-9, 146, 179-83 флэш-шабуыл 116, 256 майлайтын-суытатын сұйықтықтарды құю 84-5, қалыптасу процестері 5, 20, 26, 27-31, 87-91, 93-117, 120-40
бұзылу тұтқырлығын салыстыру 76 еркін өңдеуге арналған қорытпалар 2-3, 14-26, 50-91, 93-118, 221-2, 229-30 механикалық өңделмеген тот баспайтын болат 51-2, 93-118, 221-2, 229-30, 256
құралда үйкелу/чип интерфейсі 43-91, 237-8 FSX-414 суперқорытпа 34

ажарлау коэффициенті 90-1
гранат 168-72, 208-10, 222-30, 234-5, 258
газбен лазерлік өңдеу 169-72, 206-10, 222, 244-5
GC3015 233-4
тісті кескіш 7-9, 83-91
«Дженерал электрик» компаниясы 54, 74-5
шыны 145-6, 168, 180
алтын, сипаттамалар 250
графит 191, 243-5
ажарлау 1-2, 6-9, 82-91, 109-10, 114, 125, 139-42, 159-60, 174-6, 196, 242-5 grinding ажарлау шенберлері (АШ) 109-10, 114, 139-40, 176 мылтық бұрғысы 133
зеңбірек қоласы 46

гафний (Гф) 37-41, 115-17, 231-2 Хастеллой 29, 32, 33, 35-9, 102-3, 122-4, 194-217, 242-5, 258
Хастеллой Б ыстыққа төзімді қорытпа 38-9, 122-4, 199-217 ХастеллойС-276 суперқорытпа 38-9, 122-4, 194-217
Хастеллой С ыстыққа төзімді қорытпа 37-9, 122-4 Хастеллой Х ыстыққа төзімді қорытпа 29, 32, 33, 38-9, 102-3, 122-4, 194-217, 242-5
Хейнес 3, 29-31, 33, 34, 38-9, 40, 122-5, 131-3, 184-217, 230-1, 238-45 Haynes 21 superalloy

Хейнес 25 (L605) (UNSR30605) ыстыққа төзімді қорытпа 29, 33, 34, 40, 122-5, 131-3, 184-217 Хейнес 181 ыстыққа төзімді қорытпа 194-217 Хейнес 188 (UNSR30188) ыстыққа төзімді қорытпа 29, 33, 40 Хейнес 214 ыстыққа төзімді қорытпа 29, 33 Хейнес 230 ыстыққа төзімді қорытпа 33, 37-9, 108
Хейнес 242 ыстыққа төзімді қорытпа Хейнес 263 ыстыққа төзімді қорытпа 33, 122-4
Хейнес 282 ыстыққа төзімді қорытпа 38-9, 238-45 Хейнес 556 ыстыққа төзімді қорытпа 29 Хейнес, Элвуд 39 ХейнесHR-120 ыстыққа төзімді қорытпа 33 ХейнесHR-160 ыстыққа төзімді қорытпа 33, 105, 108 ХейнесR-41 ыстыққа төзімді қорытпа 33 ЗТВ (термиялық әсер ету аймағы) 2, 151-62, 166-9, 172-3, 176, 180-217, 221-45 HCJ92605 ыстыққа төзімді қорытпа 31, 34 HDJ93005 ыстыққа төзімді қорытпа 31, 34 HEJ93403 ыстыққа төзімді қорытпа 31, 34 ыстыққа төзімді ыстыққа төзімді қорытпа (ЫТСҚ) *сондай-аққар.* ыстыққа төзімді қорытпа FJ92603
суперқорытпа 34 HNJ93503 ыстыққа төзімді қорытпа 31, 34 HJ94003 ыстыққа төзімді қорытпа 34 өңдеудің жоғары жылдамдығы (ӨЖЖ) 50-1, 52-60, 75-81, 88-91, 222-45
тез кесетін болаттар (ТКБ) 46, 58-9, 63-7, 74-81, 88, 103-11, 120-1, 123-40, 222, 230
төзімділігі жоғары полимерлер 1-2, 141
жоғары қысыммен СОЖ беру әдістері (ТББ) 50-1, 62-3, 222, 242
химиялық ерітудің жоғары жылдамдықпен тозуы 59-60 жоғары жылдамдықты диффузиялық-шектелген тозу 59 НКJ94224 суперқорытпа 34 HLJ94604 ыстыққа төзімді қорытпа 34 HNJ94213 ыстыққа төзімді қорытпа 31, 34 жануыштау 6-9, 83-91, 127-40 жоғары температуралар кезіндегі ыстық қаттылық 4, 39-40, 52-63, 64-81, 93-117, 119-40, 225-45 ыстықпен өңдеу 50-1, 52-3, 179, 214-17, 221-2 Тиімділігі жоғары ыстыққа төзімді қорытпа 34
HS-31 (X-40) 32, 34, 122-4, 185-217 HTJ94605 ыстыққа төзімді қорытпа 31, 34 HU ыстыққа төзімді қорытпа 34
гибридті өңдеу процестері (ГӨП) 142, 159-60, 175-6, 179, 196, 214-17, 241-2

IC907 кестелері 77
IN-100 ыстыққа төзімді қорытпа 30, 32, 33, 34, 39, 121-4, 185-217, 242-5
Инколой 29, 30, 31-3, 35-9, 121-4, 244-5

Инколой 800 (UNSN08800) ыстыққа төзімді қорытпа 29, 31-3, 35, 122-4, 244-5 Инколой 801 (УНС Н08801) ыстыққа төзімді қорытпа 29,33,122-4 Инколой 802 ыстыққа төзімді қорытпа 29, 33, 122-4 Incoloу 903 ыстыққа төзімді қорытпа 30, 33, 35 Инколой 907 ыстыққа төзімді қорытпа 30, 33 Инколой 909 ыстыққа төзімді қорытпа 30, 33, 35 Инколой 925 ыстыққа төзімді қорытпа 33 Инколой МА 956 ыстыққа төзімді қорытпа 31-3, 35-9, 119-4
Инконель 30, 32, 33, 34, 35-9, 56-7, 62, 81, 84, 121-4, 133, 180-1, 185-217, 230-45
Инконель 100 ыстыққа төзімді қорытпа 30, 32, 33, 34, 39, 1214, 185-217
Инконель 102 ыстыққа төзімді қорытпа 33, 194-217 Инконель 600 (UNSN06600) ыстыққа төзімді қорытпа 29, 33, 37-9, 123-4
Инконель 601 ыстыққа төзімді қорытпа
Инконель 617 33 33 ыстыққа төзімді қорытпа
Инконель 625 (UNSN06625) ыстыққа төзімді қорытпа 29, 33, 38-9, 123-4, 194-217
Инконель 700 ыстыққа төзімді қорытпа
Инконель 185-217 702 ыстыққа төзімді қорытпа 33, 123-4 Инконель 706 ыстыққа төзімді қорытпа 33, 37-9, 185-217 Инконель 713 ыстыққа төзімді қорытпа, 122-4
Инконель 718 (UNSN07718) ыстыққа төзімді қорытпа 30,32, 33, 34, 36-9, 56-7, 62, 84, 122-4, 185217, 231-45 Инконель722 ыстыққа төзімді қорытпа 33 Инконель 725 ыстыққа төзімді қорытпа 33 Инконель 738 ыстыққа төзімді қорытпа 34, 122-4, 194-217 Инконель 792 ыстыққа төзімді қорытпа 34, 1224
Инконель 825 ыстыққа төзімді қорытпа 194-217, 243-5 Инконель 901 ыстыққа төзімді қорытпа 33, 123-4, 191-217 Инконель 939 ыстыққа төзімді қорытпа 202-17 Инконель МА 754 ыстыққа төзімді қорытпа 33, 35-9, 121-4 Инконель МА 6000 ыстыққа төзімді қорытпа 33, 35-9, 81, 121-4, 133 Инконель Х-750 ыстыққа төзімді қорытпа 33, 34, 36-9, 123-5, 185-217
инерттілікке / құрал материалдарының химиялық төзімділігіне 64-81 қойылатын талаптар, 116 темір құймасы 46 кіру (тәуелсіз) айнымалылары, өңдеу 9-10, 45-91 ISCAR кескіш құралдар 77 ISO 513-91 6971

J-1570 ыстыққа төзімді қорытпа 90-1, 122-4 J-1650 ыстыққа төзімді қорытпа 34

сыналану мәселелері 111-17 ағынды өңдеу 6-9, 141-6, 174-6, 179-83, 257-8

JETNETE 222, 228-30 керосин 243 Kistler динамометрлер 222-3, 226-30, 238-9 Коэнзет және Рехт жоғары жылдамдықпен өңдеу зерттеулері53-4
қайшымен шектелген командири сынықтарының моделі 56-7

Krupp'sWidia 63-4, 69-73 притир 6-9 лазермен өңдеу (ЛЮ) 6-9, 141-2, 16876, 202, 206-10, 214-15, 221-30, 234-45,257 лазермен өңдеу (ЛЮ) 216-17, 22130, 234 45 Лазаренкос ЭДМ принцип 164-5 қорғасынсыз болаттар 51, 95-6 қорғасындалған болаттар, өңделімділікті арттыру әдістері 50-2 ойық құралдары 60; 68 шегіндегі бергіштер металдардың/қорытпалардың сызықтық кеңею қасиеттері 2, 44-50, 250-1 сұйық азот 61-2, 83-91 Lockheed 54-5 сусымалы қажақтар 6-9 төмен көміртекті болаттар 43-4, 46-50, 55-7, 99-102, 108-17, 124, 138-40, 145-6, 196, 210-13, 258 май 51, 60, 61-3, 67, 81-91, 98, 225-30, 257-8

M-155 (Мультимет) (UNSR30155) супер қорытпа 29, 33, 34, 35, 122-4 м-252 супер қорытпа 29, 33, 34, 122-4,184-217 өңделімділік 1-10, 36-9, 43-91, 93-118, 40, 179-83, 189-217, 221-47 тюнинг тестілердің рейтингі 44-50, 102-3,5, 133 қиын өңделетін материалдарды кесумен өңделімділігін арттыру;повышение 50-63, 81-91, 93-4, 221-45 тот баспайтын болаттар 50-2, 93-4, 97 102, 221-2 бос емес механикалық қорытпалар 97-102 салыстырмалылық рейтингілері 44-50, 102-3, 120-5, 133, 18993, 210-13

механикалық өңдеу 1-10, 27-8, 43-91, 93-118, 119-40, 141-76, 180-217, 221-47 кіру (тәуелсіз) айнымалылары 9-10, 45-91 шығу (тәуелді) айнымалылары 9-10, 44-91 тот баспайтын болат 1-2, 4, 6 10, 51-2, 57-60, 93-102, 103-18, 141, 146, 151 62,168-76, 179-217, 221-45 супер қорытпалар 1-2, 4, 6-10, 45-50, 54-60,81, 119-40, 141, 179-217, 221-45 магниттік қасиеттері 11, 18-21, 22-6, 100-2, 147-51, 254 магнит-стрикциялы әсер, USM 148-9 МАМ 7-9 марганец (МН) 4, 12, 14-26, 48, 94-5, 99-102, 222-45 майлайтын-суығатын сұйықтықтарды пайдалану бойынша нұсқаулық, анықтама 84-5 MAR-M002 супер қорытпа 202-17 MAR-M200 супер қорытпа 34, 39, 122-4 MAR-M246 супер қорытпа 32, 34, 122-4 MAR-M247 супер қорытпа 34, 202-17, 244-5 MAR-M302 супер қорытпа 32, 34, 40, 122-4 MAR-M322 супер қорытпа 34, 122-4 MAR-M509 супер қорытпа 32, 34, 122-4,185-217 MAR-M918 суперқорытпа 32, 34 мрамор 145 кеме жасайтын болат ранг 20-1 мартенситті РН-SS 23-6, 97-8, 102, 115 тот баспайтын болаттан алынған мартенситті қорытпалар 2-3, 11, 13-26, 52, 65-7,81, 94-117, 180-217, 222-45 материалды жою процестері 1-10, 53-60,81, 103-17, 143-7, 150-1, 153-75, 180-217, 242-5 материалдық жою тарифтері (MRRs) 1-6, 53-60,77- 81, 103-17, 143-7, 150-1, 153-75, 180 217, 242-5 механикалық дәстүрлі емес өңдеу процестері 141-51, 174-6, 179-83 механикалық беріктік 1-2, 3-4, 27-41,44-91 балку нүктелері, элементтер 27-31, 57-9, 132-40, 166-7, 249-50 MERL-76 супер қорытпа 33 Messer - Griessheim 166 металл-матрицалары бар композиттер (MMC) 141-76 ұнтақты тез кескіш болат құралдардың микро-балқытпасы 112-15 микроөңдеу ұғымы 205-6, 240-2 жону 1-9, 71-8, 87-9, 111-13, 125, 133-7, 160-2, 174-6, 196-206, 215-17, 221-45 минералды майлар 83, 85-91 Minibuster екінші аппликаторлары компаниясы 225-7

ең аз мөлшерді майлау әдістері (MQL) 51, 62, 84-5, 222, 225-30 майлайтын-суығатын сұйықтықтарды пайдалану, анықтама 84-5 Mitsubishi және Charmilles 205 металл/қорытпа қасиеттерінің серпімділік модулі 44-50, 250-1 молибден HSSs (M-group) 66-7, 76-81, 135-40 монель 46, 251 МоS / Тi-композитті жабындар 84 MP-159 суперқорытпа 29, 33, 40, 123-4

NASACo-W-Re суперқорытпа 32, 34, 121-4 форманың таза дерлік компоненттері (ФТК) 120 таза майлар 83 91 неодимді шыныдағы лазерлер (ND:шыны) 169-72 неодимді итрий-алюминий гранаттағы шынылар (Nd:YAG) 169-72, 208-10, 222-30, 234-5

Никель негізіндегі ыстыққа төзімді қорытпа 4, 27-41, 54-7, 60, 77-81, 88-91, 119-40, 181-217, 230-45, 257 Нихром типті суперқорытпалар 3 29, 30, 33, 37-9, 122-4, 200-17 Нимоник 75 ыстыққа төзімді қорытпа 29, 33 Нимоник 80А (УНС 07080) ыстыққа төзімді қорытпа,33,76-9 Нимоник 86 ыстыққа төзімді қорытпа 33 Нимоник 90 (UNS 07090) суперқорытпа 30, 33,9, 122-4 Нимоник 100 ыстыққа төзімді қорытпа 33 Нимоник 105 ыстыққа төзімді қорытпа 33, 202-17 Нимоник 115 ыстыққа төзімді қорытпа 33, 216 Нимоник 713 ыстыққа төзімді қорытпа 202-17 Ниобий (NB) 12, 23-6, 199 азот/плавик қышқылының қоспалары, улау процестері 115-17, 254 нитрид 67, 74, 101-2 азот (N) 4, 12, 14-26, 61-2, 83-4, 100-17 Нитронды 32 16 50 16, 103 асыл металдар 116 цилиндрлік емес форманы термомеханикалық өңдеу 7-9 белгісіз геометрияны термомеханикалық өңдеу 6-9 түрлі-түсті кескіш құралдар 65-81 қорытпаларды бос емес механикалық өңдеу 14-26, 78, 97-102, 110-17 дәстүрлі емес өңдеу процесі (ДЕӨП) 1 2, 4, 6-10, 125-6, 141-76, 179-219, 221-47

сондай-ақ қар.: дақтар; қажакты; химиялық; электрлік разряд; электрхимиялық; электронды шок; эрозия; гибридті; реактивті; лазер; фотохимиялық; плазмалы доға; термоэлектрлік; ультрадыбыстық; су ағынды; колдану 173-6, 179-217, 239-45 процестерді механикалық өңдеуге ұшырата отырып жіктеу 6-10, 1412

анықтама 1-2, 6-8, 141-2 жасушадан тыс матрица процестерін және турбомашиналарды термоэлектрлік дәстүрлі емес өңдеу процестерін экономикалық талдау 211-13 болашаққа перспективалар 173-6, 22147 шектеулер 8-9, 125-6, 173-6 MRRs 143-7, 150-1, 153-75, 180-217, 242-5 мұрын радиусы бойынша 127-30, 223-45 шүмектер, майлайтын-суытатын сұйықтықтар 81-91, 226-30 атомдық энергетикалық жүйелер 4, 36-9 ЭЦМ сандық басқару 188-93

кисық кесу, тұтынылатын қуат 48-50 май 82-91, 109-17, 138-40, 225-30 жұмыс температуралары, суперқорытпалар 4 ортогональді кескіш, тұтынылатын қуат 48-50 тотығуға төзімділік 1-4, 18-26, 27-41, 237-45 оксидтік қабыршақтануы 37-9, 230 оксид-дисперсті орнықтыру (ODS) 35-9 оттегі 3-4, 11-13

P550 SSs 222-30 PAM 7-9 парафин майы 83, 86, 112-15 пассивтеу 3-4, 1113, 23, 114-17, 254-6 сокқымен бұрғылау (PD) 170-2, 209-10 Перспекс 245 фосфорлы болаттар, өнделімділікті арттыру әдістері 50-2 фосфор (P) 2-3, 4, 14-26, 50-2, 96-117 фотохимиялық өңдеу (PCM) (себу арқылы улау) 7-9, 142, 160, 162-3, 174-6, 199-201 бу фазасынан физикалық тұндыру әдістері (PVDs) 59-60, 67, 72-3, 77, 79-81, 226-30, 233-45 улау (химиялық тазарту) 114-17, 254 питтингті жемірілу 13, 52, 116-17 сүргілеу 6-9, 80, 88,

- 6 плазмалы-доғалы кескіш (ПКК) 6-9, 141-2, 172 6, 210-13, 216-17, 221-2 күшейтілген механикалық өңделген плазмалар (УГР) 216-17

плазмалық өңдеу (PAT) 217 пластик 75 PM-HSS 67, 112-15 тегістеу 7-9, 190-217 полиальфаолефин 82-3

бордың поликристалды кубтық нитридi (PCBN) 1-2, 59-61, 64, 74-81, 234-45 поликристалды синтетикалық алмаз (PCD) 1-2, 59, 64, 75-6 полиэтиленоксид (ПЭО) 144-6 мылтықтардың дұрыс геометриясы 79, 127-30, 223-45 калий нитриті 90

ұнтақты металлургия (PM) ыстыққа төзімді корытпа 27-41, 67, 73-4, 112-15, 120-40, 230-45 энергияны тұтынуға қойылатын талаптар коэффициенті 43-6, 48-50, 81-91, 104-17, 121-40, 119-6

шындалған тот баспайтын болаттың тұнбасы (ПЭ-СС) 13, 23-6, 31-41, 78, 97-8,

102-3, 116-17, 180-1, 217, 256 префикстер / символдар, еселік және субкөбейткіштер 251 өнімділік факторлары 5-6, 58-9, 81-2, 221-2 жоба 70 117

импульстік электрхимиялық өңдеу (PECM) 1546, 190-3, 211-13 ұғымдар 154-6, анықтама 1545 ыстыққа төзімді корытпалардың ППР 34 Пиромел 31 ыстыққа төзімді корытпа 33 Пиромел 860 ыстыққа төзімді корытпа 33 Пайромет 350 24, 115 Пайромет 355 24, 115 Пайромет А-286 (УНС К63198) 30, 31-3, 35, 103, 121-5, 184-217 Пайромет СТХ-1 ыстыққа төзімді корытпа 33

мөлшерлер, маңызды мөлшерлер үшін СИ өлшем бірліктері 251 шындау шарттары 19, 22-6, 105-17

бұрғылап кеңейту 7-9, 76-8, 80, 83-91, 110-11, 125, 133, 231-45

қабаттарды қайта жасау (РЛС), ғылыми-зерттеу жұмыстары 242-5 қайта өңдеу бойынша жұмсалатын шығындар 212-13 Отқа төзімді 26 супер корытпа 33, 122-4 баяу жанатын металдар 1-2, 27-31, 33, 64 81, 120-4, 141-76

Лазаренконың (RC) релаксациялық сызбасы, Эд машиналары 165-6, 202-6 бедер геометриясы 130-40

Rene 41 (UNS 07041) супер қорытпа 30, 32, 33, 34, 37-9, 81, 122-4, 131-3, 184-217 Rene 77 супер қорытпа 34, 121-4 Rene 80 супер қорытпа 34, 197-217
 Rene 88 супер қорытпа 33, 185-217 Rene 95 супер қорытпа 30, 33, 37-9, 122-4, 185-217
 Rene 100 супер қорытпа 33, 34, 194
 Rene 125 супер қорытпа 185-217
 Rene N4 супер қорытпа 34
 Rene N5 супер қорытпа 34
 Rene N6 супер қорытпа 34
 қайта фосфорланған болаттар 51-2, 102-3, 124-40
 қайта сульфатталған болаттар 51-2, 93-4, 102-3, 124-40
 бақылау сұрақтары 253-63
 ракета қозғалтқыштары 36-9
 бастапқы өңдеу, өңделімділік концепциясы 43-91, 94-117, 190-3, 231-45 г1000 Никель негізіндегі суперқорытпа 34, 230-45 ажырауға беріктік мәндері 35-41 тот 1-4, 1113, 14-26, 27-41, 81-91, 93-117, 245, 253-4

S-816 (UNS R30816) супер қорытпа 29, 33, 34, 1224
 Salomon жоғары жылдамдықты өңдеу процесі 52-4
 тұзды электродтар 245
 Sandvik 25, 233-4
 Спутник В супер қорытпа 33
 Арамен кесу 7-9, 87-8, 89
 Масштабтау 2-3
 Шаффлер-Делонг 21 селен (Se) 3, 13, 52, 93-117, 256 өздігінен қалпына келу (қыршу) қасиеттері 3-4, 23-4, 114-17 полу-аустенитті РН-СС, концепциялар 23-6, 102-3, 115
 профильді құбырларды электролитті өңдеу (шток)
 156-8, 175-6, 188-91, 194-5, 214-15, 245 құру 7-9, 27-31, 65-81, 88, 120-1, 125-6, 180 217
 қайрау 65-81
 шектелген жылжу (сегменттелген / тісті/ біртекті емес) чиптер 54-7, 119-21, 234 5, 242
 жылжуға беріктік 47-91, 120-40, 224-45
 маңызды мөлшерлер үшін СИ өлшем бірліктері 251 Сиалон құрал материалы 60, 74-5, 79-81, 234-6 бүйірден кесу геометриясы 130-40 бүйір бедерінің геометриясы 130-40

бір нүктелі кесу құралы, ыстыққа төзімді қорытпа 126 батырып электрэррозиялық өңдеу (СЭДМ) 203-6, 211-13 сырғуды бергіштер 68 қашау 8-9, 176, 207-17 сабын, су негізіндегі эмульсиялар 82-3 натрий дихроматы, пассивтер процестері 116-17 натрий гидроксиді 117 қатты майлар 84-91 Кеңес Одағы 204
 кесу энергиясының нақты концепциялары 48-50, 121, 12440, 224-45
 себу арқылы улау қар. фотохимиялық өңдеу...
 SRR 99 супер қорытпа 34 тот баспайтын болат 18/0, анықтама 253 тот баспайтын болат 18/8 46, 251, 253 тот баспайтын болат 18/9 95 тот баспайтын болат 18/10, анықтама 253 тот баспайтын болат 200 серия 12, 16-26, 99, 103, 200-17
 тот баспайтын болат 201 16-26 тот баспайтын болат 215 20017 тот баспайтын болат 300 сериялары 2-3, 11-12, 16-26, 51-2, 94-106, 108, 115, 116-17, 126, 179-217, 222-45 тот баспайтын болат 301 18, 25, 200-17 тот баспайтын болат 302 12, 16-26, 102-3, 115, 117, 184-217
 тот баспайтын болат 303 2-3, 17-26, 94-103, 116, 117, 126, 184-217, 222-45 тот баспайтын болат 304 16-26, 95, 98-105, 115, 117, 126, 180-217, 222-45 тот баспайтын болат 305 16-26, 117 тот баспайтын болат 309
 • 26, 103 тот баспайтын болат 310 16-26, 31, 103 тот баспайтын болат 316 11-12, 16-26, 98-105, 117, 179-217, 222-45 тот баспайтын болат 317 16-26, 103 тот баспайтын болат 321 17-26, 103, 105-6, 115, 194217, 245
 тот баспайтын болат 329 22-6, 101-2 тот баспайтын болат 347
 • 26, 99-103 тот баспайтын болат 400 сериялары 2-3, 1326, 52, 94-102, 103, 179-217, 228-45 тот баспайтын болат 403 15-26, 103 тот баспайтын болат 405 13-26, 99-102 тот баспайтын болат 409 13-26, 117 тот баспайтын болат 410 15-26, 98-102, 103, 117, 184-217

тот баспайтын болат 414 15-26, 100-2, 194 217, 228 45
тот баспайтын болат 416 15-26, 94-103, 116, 117 тот баспайтын болат 420 15-26, 99-103, 116-17, 20017
тот баспайтын болат 421 25
тот баспайтын болат 429 13-26
тот баспайтын болат 430 2-3, 13-26, 98-102, 116-17, 200-17 тот баспайтын болат 431 15-26, 103 тот баспайтын болат 434 13-2 тот баспайтын болат тот баспайтын болат 436 13-26 тот баспайтын болат 439 13-26 тот баспайтын болат 440 15-26, 100-3, 115, 116 тот баспайтын болат 444 442 13-26 13-26, 98-102 тот баспайтын болат 446 13-26, 99-103 тот баспайтын болат S13800 24-6 тот баспайтын болат S15500 24-6, 180-3 тот баспайтын болат S17400 23-6, 102, 180-217 тот баспайтын болат S17700 23-6 тот баспайтын болат s31803 22-6 тот баспайтын болат S32550 22-6 тот баспайтын болат S35000 24-6, 102 тот баспайтын болат S35500 23-6, 102 тот баспайтын болат S42010 S41623 15-26 15-26, 99-102, 116-17 тот баспайтын болат S45000 24-6 тот баспайтын болат S45500 24-6 тот баспайтын болат S66286 24-6, 102 тот баспайтын болат (СНО) 1-10, 11-26, 43-4, 45-91 93-118, 141, 146, 151-62, 168-76, 179-217, 221-45, 251, 253 сондай-ақ қар. АИМК..аустенитті..негізгі...; алынған...; дуплекс.; ферритті.; мартенситті.; тұнбалар катуда. Әртүрлі типтердің артықшылықтары / кемшіліктері 3, 25-6, 93-5, 100-2 сипаттамалары 1-10, 44-91, 93-5 жіктелуі 11-26 салыстырмалы сипаттамалары 23-6, 100-2 тарихи анықтама 2-3, 94-102, 204 өнеркәсіпте қолдану 3-4, 11-26, 179-217 шектеулер 3, 25-6, 93-5, 100-2 өңделімділік 45-63, 93-4, 97-117, 189-93, 210-13, 221-45 өңделімділікті арттыру әдістері 50-63, 93-4, 221-45 өңделімділікті бағалау салыстырмалылығы

өңдеу 1-2, 4, 6-10, 51-2, 57-60,93-102, 103-18, 141, 146, 151-62,168-76, 179-217, 221-45 дәстүрлі емес өңдеу процестері 1-2, 4, 6-10, 141, 146, 151-62, 168-76, 179-217, 221-45 кызып кету эффектілері 85-6, 100-2 қасиеттері 13, 4, 44-91, 93-5, 251 өздігінен қалпына келу (сызат) қасиеттері 3-4, 23-4, 114-17 механикалық өңдеуден кейін тот баспайтын болаттардың бетін өңдеу 114-17 құралды таңдау 58, 59-60, 75-81,221-30 дәстүрлі өңдеу процестері 1-2, 4, 6-10, 75-81, 85-8, 93-102, 103-18, 221-45 шегіну-арақашықтық (SOD) 215-17 стандартты префикстер / символдар, еселік және үлестік бірліктер 251 STAVAX 15 болат (1020), қасиеті 103, 251 болат (1040), қасиеті 251 болат (1080), қасиеті 251 болаттар, құралдарды таңдау 58, 59-60 Штайгервальдтың электрондық жұмысы 166 Стеллит 31 (Кобальт негізіндегі қорытпалар) 3, 67-8, 194-217 қорларды шығару нормалары (SRRs), USM 150-1 күштік мүмкіндіктер 1-2, 3-4, 11-13, 77-26, 27-41, 64-91, 93-117, 119-40, 221 - 45, 256-7 кернеуден жеміріліп шытынау 22-6, 34-41, 82 сульфидтер 94-117 сульфохлорланған майлайтын-суытатын сұйықтықтар 85-91, 112-17 күкірт (s) 2-4, 13, 25-6, 50-2, 83, 85-6, 93-117 күкірт қышқылы 11-13, 197-9, 245 сульфатталған ЭП - майлар 83, 85-91 сульфатталған болаттар, өңделімділікті арттыру әдістері 50-2, 93-4 супер қорытпалар (Сас) 1-10, 27-41, 45-50, 54-60, 68, 75-81, 88-91, 102-3, 119-40, 141, 179-217, 221-45, 251, 256-7 сондай-ақ қар. құйма; Бірлескен түрде.; Темір негізінде.; никель негізінде.; ұнтақты металлургия.; соғылған. пайдалану 3, 4, 27-41, 120-1, 179-217 сипаттамалары 1-10, 119-21 жіктелуі 27-41, 257 жабындар 28, 130-40, 207-17, 23345 құрамы 27-33 анықтама 3, 4, 27-8, 119-20, 251, 256-7 механикалық өңдеу бойынша нұсқаулық 126-40

супер корытпалар (SAs) (жалғасы)
тарихи анықтама 3, 39, 204 өнеркәсіпте
пайдалану 3, 4, 27-41, 120-1, 179-217
шектеулер 119-20 өңделімділік 4550, 102-
3, 119-40, 189-93, 210-13, 221-45
аракатынастарды бағалауды өңдеу 45-50,
102-3, 120-5, 133, 18993, 210-13 өңдеу 1-2,
4, 6-10, 45-50, 54-60, 75-81, 119-40, 141,
179-217, 221-45 дәстүрлі емес өңдеу
процестері 1-2, 4, 6-10, 75-81, 125-6, 141,
179-217, 221-45 қасиеттері 3, 4, 119-21,
251 таңдау құралы 58, 60, 75-81, 12740,
230-45 дәстүрлі өңдеу процестері 1-2, 4,-
75-81, 88-91, 119-24, 125-40, 221-45
типтері 4, 27-41, 119-40, 257 супер әрлеу
7-9, 79 беттің тұтастығы және жою
жылдамдығы 215-17, 242-5 беттің кедір-
бұдырлығы және шектері, дәстүрлі емес
өңдеу процестері 120-6, 180-217, 234-45
механикалық өңдеуден кейін тот
баспайтын болаттардың бетін өңдеу
114-17 ұсақ металл жоңқасы 81-91
синтетикалық сұйық майлар, анықтама 82-3,
90

ас-үй құралдары 2, 4, 19 ТаС 69-73 Тагути
модель 230 тантал (Та) 37-41 бұранданың
кесуі 76-8, 80-1, 83-91, 125-6
Тейлор теңдеуі 43, 46-50, 63-4, 234-5 TD-
никель 121-4 теллур (Те) 52, 93-117
температураға беріктік 1-3, 4, 34-41, 119-40,
22345
жоғары температурада созу кезіндегі беріктік
шегі 4 созу кезіндегі аққыштық шегі (САШ)
18-26, 44-50, 100-17, 22245
металдар/корытпалар қасиетінің жылу
өткізгіштігі 2-3, 4, 44-64, 65-91, 100-17, 119-
40, 141-76, 231-45, 250-1 беріктіктің
термиялық қажу кедергісі 12, 27-41, 64-91, 256-
7 ыстыққа төзімділік, құрал материалы
термиялық қосымша өңдеу (МТО) талаптары
64-81 қар. *ыстық* өңдеу

термоэлектрлік дәстүрлі емес өңдеу
процестері 141-2, 164-76, 201-14, 77-47

Ti-6Al-4V корытпа 56-7, 244-5 и Ti-8Al-1Mo-
1v не 194-5 корытпа Ti- корытпа 1-3, 12, 54-9,
60-1, 68-73, 175-6, 183-95, 204-6, 244-5
TiAlCrN жабын 237-9 жабындар саны 77, 237-
45 айқаршық 67, 69-73, 76 Tigham-ды ыстық
өңдеу процесі 52 Жабын материалы TiN 67-
73, 76, 77, 229-30 қалайы (SN) 51-2, 161, 250
титан карбиді 12 сым тостері 3 бұрыш құралы
130-40, 215-17, 222-30 аспаптық көміртекті
болат (ТКС) Құралдың сынуы 63-6 9-10, 73-4,
98,
38-40 ұстағыштар 9-10, 83-4, 101-17, 127-8,
131-40

Құралдың қызмет ету мерзіміне қойылатын
талап факторлары 43-50, 61-2, 81-2, 94-5,
120-40, 183-217, 222-45 құралдың тозуы 52-
9, 61-3, 64-91, 120-40, 183-217, 77-45

Дәстүрлі өңдеу процестері (ДӨП) 1-2, 4, 6-10,
43-92, 93-102, 103-18, 119-40, 141-2, 173-4,
221-47 сондай-ақ қар. дактар...; жонып өңдеу;
созу; ажарлау; кесу.; бұрғылағыштар; тіс
өңдеушілер; тегістеу; жануыштау; гибридті.;
үстелге қоятын бұрғылағыштар; жонғыштар;
сүргілегіштер; ажарлау; бұрғылап кеңейту;
арамен кесу; шейпинг; кесу; супер әрлеу;
бұру артықшылықтары 125-6
механикалық өңдеу процестерін жіктеу 6-10
анықтама 1-2, 6-8, 93-102, 141 шектеулер 67,
141
тот баспайтын болат 1-2, 4, 6-10, 75-81, 85-8,
93102, 103-18, 221-45 супер корытпа 1-2, 4, 6-
10, 75-81, 88-91, 119-24, 125-40, 221-45
өңдеуден кейін тот баспайтын болаттан
жасалған бетті өңдеу 114-17
типтері 1-2, 4, 6-10, 43-91, 103-18, 125-40, 221-
45
түрлендіргіш және магнит-стрикциялы
эффект, USM 148-9
транзисторлы импульстік генераторлар, ЭД
машиналар 165-6 ЭД, 202-6 трепанация 79-80,
87-8, 171-2, 210-17 Тримрите 15, 117

вольфрам HSSs (Т-топтар) 66-7, 76-81, 130-40 газ-турбиналы қозғалтқыштар 3, 4, 34-41, 75-81, 120, 141, 180-217, 256-7
турбоайдағыштар 3, 4, 34-41, 75-81, 120, 141, 180-217
Турковичтің жылдам оқуы 54 бұрылыс 1-2, 6-9, 45-91, 103-17, 120-6, 127-40, 175-6, 221-45

UCON (кобальт негізіндегі қорытпа) 67-8
Удимет 30, 32-4, 37-9, 90, 122-4, 184-217, 221-45
Удимет 400 суперқорытпа 37-9
Удимет 500 (UNSN07500) суперқорытпа 30, 33, 34, 90, 122-4, 184-217
Удимет 520 суперқорытпа 33
Удимет 630 суперқорытпа 33, 1224, 185-217
Удимет 700 суперқорытпа 30, 32, 33, 34, 39, 122-4, 184-217, 221-45
Удимет 710 суперқорытпа 33, 122-4, 194-217
Удимет 720 суперқорытпа 33, 202-17
Удимет 728 суперқорытпа 231-45
созуға беріктік шегі (СБШ) 18, 1926, 38-41, 100-17, 125
лазерлік сәуленің көмегімен ультрадыбыспен өңдеу (ЛСКУӨ) 244-5
Электрэррозиялық өңдеу көмегімен ультрадыбыстық өңдеу (USM/EDM) 244-5
ультрадыбыстық өңдеу (USM) 6-9, 50-1, 141-2, 147-51, 120-6, 180-3, 222, 241-5
ұғымдар 147-51, 174-6, 180-3, 222, 244-5
анықтама 147-8, 174, 180-1
УД-көмекші өңдеу (Уам) 50-1, 60-1, 147-51, 222, 241-5
UMCo-50 супер қорытпа 33
карбидтер жабылмаған 223, 234
Унитемп AF2-IDA супер қорытпа 33, 122-4
уран, сипаттамалары 250
В-36 супер қорытпа 34, 122-4
57 супер қорытпа 30, 33, 35, 122-4

валентті сипаттамалар, элементтер 249-50
ванадий (V) 65-6 өсімдік майлары 62, 83
эмбебаптық аспектілері, механикалық өңдеу 4-6
діріл 2, 38-8, 214-17

W-545 ыстыққа төзімді қорытпа 33, 34, 122-4
әскери кемелер 36-9
Waspaloy (UNS 07001) ыстыққа төзімді қорытпа 30, 33, 389, 122-4, 185-217, 231-45
су негізіндегі майлайтын-суытатын сұйықтықтар 82-91
су негізіндегі эмульсиялар 8291, 112, 225-30
сумен шыңдау күйі 19, 22-6, 105-17
су ағынымен өңдеу (САӨ) 6-8, 141-6, 174-6, 179-83, 257-8
WAX-20(DS) ыстыққа төзімді қорытпа 32, 34
Вольфрам / көміртек карбидтерінен жасалған жабындар 84, 240-1
пісіру 12-13, 16-26, 3641, 88-91, 93-117, 166-8, 225-45, 254
Wi-52 ыстыққа төзімді қорытпа 34, 122-4
Widia 63-4, 69-73
сымды электрэррозиялық өңдеу (СЭЭӨ) 202-6
сымдар 3-4, 202-6
орнықтыру жылдамдығы 2, 16-26, 44-50, 100-17, 127-40
кеңейткіштер 9-10, 83-4, 101-17, 1278, 131-40
пішіні өзгертін ыстыққа төзімді қорытпа 27-41, 105, 113-17, 12040

X-40 (Stellite31) ыстыққа төзімді қорытпа 32, 34, 122-4, 185-217
рентген сәулелері 166-7

Юнг модулі 149 иттрий-алюминий гранаты (YAG) 168-72, 208-10, 222-30, 234-5

мырыш (ZN) 46, 153, 161, 250
циркөний (Zr) 3741