

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Промышленная техника и оборудование

(Сборка, конструктивное исполнение, характеристики)

Учебник

ИЗДАТЕЛЬСТВО
FOLIANT

Нур-Султан
2019

УДК 620(075)
ББК 34.6я73
П 81

Авторы:

Дитмар Шмид, профессор, доктор технических наук (Введение, главы 2, 6, отдельные статьи)

Петер Деммель, доктор технических наук (главы 4, 5)

Хартмут Хоффманн, профессор, доктор технических наук (Станки для формовки и формовочные технологии)

Петер Виппенбек, профессор, дипломированный инженер (Станки для обработки полимеров)
Андреас Хартманн, дипломированный инженер (спец. вуз) (Оборудование для аддитивного производства)

Северин Ханниг, доктор технических наук (раздел 2.6)

Томас Виссерт, дипломированный инженер (глава 10)

Кристоф Майер, доктор технических наук (раздел 10.2)

Петер Эрнст, доктор технических наук (глава 11)

Ханс Кауфманн, дипломированный инженер (спец. вуз) (глава 9)

Вольф-Иммо Юцлер, профессор, доктор технических наук (глава 3)

Томас Энгель, доктор естественных наук (глава 8)

Экехард Кальхёфер, профессор, доктор технических наук (раздел 10.1)

Редакционная коллегия:

Дитмар Шмид, профессор, доктор технических наук

Рецензенты:

Ниязбекова Р. К. – доктор технических наук, доцент

Сучкова Н. П. – преподаватель специальных дисциплин высшей категории Павлодарского колледжа цветной металлургии

Шидловская Л. А. – мастер производственного обучения специальности «Эксплуатация машин и оборудования в промышленности» Павлодарского колледжа цветной металлургии

П 81 Промышленная техника и оборудование: Учебник / Пер. с немецкого. – Нур султан: Фолиант, 2019. – 412 с.

Учебный материал изложен с учетом современного состояния станкостроения и промышленной техники. Практическая направленность учебника позволяет его использовать на занятиях производственного обучения в учебно-производственных мастерских и при прохождении профессиональной практики на предприятиях.

Рассмотренные темы характеризуют отрасли, классификацию, этапы развития промышленной техники, индустрию, киберфизические системы. Большое внимание уделено изучению узлов станка и аксессуаров. Прилагается богатый иллюстративный материал. Приводятся примеры практического характера.

Учебник можно использовать при подготовке студентов к чемпионатам «WorldSkills» по компетенциям, связанным с использованием различных станков.

Предназначен для студентов учебных заведений технического и профессионального образования, обучающихся по специальностям 1014000 «Металлургия черных металлов», 1006000 «Металлообработка» (по видам), 1109000 «Токарное дело и металлообработка» (по видам), 1112000 «Эксплуатация машин и оборудования в промышленности», 1120000 «Техническое обслуживание технологических машин и оборудования» (по видам). Представляет интерес как справочное пособие для специалистов, занятых в сфере использования различных станков и промышленного оборудования.

УДК 620(075)
ББК 34.6я73

ISBN 978-601-338-373-6

© Verlag Europa-Lehrmittel, 2014,
Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
© Издательство «Фолиант», Нур-Султан, 2019
© Издательство «Фолиант», переводная, 2019

Предисловие

Станки, в отличие от *ручных инструментов*, являются механическими инструментами.

Станки – основные средства в производстве. Они необходимы для производства механизмов и оборудования, на котором, в свою очередь, выпускаются серии изделий. Станки являются важнейшим средством, необходимым для процветания индустриального общества, что обеспечивает высокую доступность повседневных товаров. Именно станки являются необходимым условием для массового производства и, таким образом, освобождают значительную часть человечества от голода и нужды, а также позволяют развивать и поддерживать другие культурно-значимые области, такие как медицина, транспорт и связь.

Из-за преобладания технологии резки в промышленном производстве большая часть книги посвящена металлорежущим станкам. Данный факт говорит о ключевой роли таких станков в нашем индустриальном обществе. В книге подробно рассматриваются наиболее важные конструктивные элементы и узлы станков, такие как станины, направляющие, подшипники и приводы, а также соответствующие способы управления.

Наряду с металлорежущими станками рассматриваются машины для формовки, разрубки и гибки, литья под давлением, другие механизмы. Особого внимания заслуживают методы изготовления и детали конструкции шлифовальных станков, координатно-измерительных машин, промышленных роботов и трехмерных станков (3D-принтеров). В соответствующей специальной литературе очень мало освещены особенности проектирования, строительства и техники управления данной группы станков. Точное проектирование, правильный подбор деталей и компонентов – все это является предпосылкой для успешной сборки станков.

Данная книга является учебным пособием в области технологии строительства станков и рекомендована для изучения в техникумах и технических вузах. Она раскрывает основы машинной технологии производственных процессов.

Наиболее важными темами являются:

- Металлообрабатывающие (металлорежущие) станки (токарные, фрезерные, сверлильные, многоцелевые и шлифовальные станки),
- Абразивные станки (станки для электроэрозионной, электрохимической, лазерной, гидроабразивной и ультразвуковой металлообработки),
- Машины для формовки и разрубки (прессы, станки для штамповки и гибки с ЧПУ),
- Машины для литья под давлением и термопластавтоматы,
- Координатно-измерительные машины,

- Промышленные роботы и трехмерные станки машины для аддитивного производства (3D-принтеры),
- Компоненты и детали станков (станины, направляющие, главные приводы, системы подачи),
- Статические, динамические и тепловые свойства, фундамент,
- Измерения на станках и их квалификация,
- Пневматические и гидравлические агрегаты,
- Электрические контроллеры и приводы,
- Безопасность, документация, диагностика,
- Переоборудование

С целью общего образования студентов, наряду с основными техническими деталями, приводятся исторические справки и история возникновения методов и технологий. Основные вехи развития техники от первой до четвертой промышленной революций развязываются с помощью связанных с ними машин и инструментов. Только так можно получить представление и по-настоящему оценить современный уровень развития техники.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3	2.2.2.1 Введение.....	43
1 Введение.....	9	2.2.2.2 Последовательная	44
1.1 Отраслевая характеристика.....	9	кинематика.....	44
1.2 Классификация.....	10	2.2.2.3 Параллельная кинематика.....	52
1.3 Этапы развития		2.2.2.4 Инструментальные магазины	
промышленной техники.....	11	и система смены инструмента.....	55
1.4 Индустрия 4.0.....	13	2.2.2.5 Обработки заготовки.....	60
1.5 Киберфизические системы		2.2.2.6 Микрофрезерные машины.....	65
(англ. Cyber-PhysicalSystem, CPS).....	14	2.2.2.7 Зажимы для инструмента.....	66
		2.2.2.8 Держатели инструмента.....	69
		2.2.3 Сверлильные станки.....	74
		2.2.3.1 Вертикально-сверлильные	
		станки со стойкой.....	74
		2.2.3.2 Многошпиндельные	
		сверлильные станки.....	74
2. Металлообрабатывающие	15	2.2.3.3 Станки для глубокого	
станки.....	15	сверления.....	75
2.1. Классификация и обзор.....	15	2.2.4 Фрезерно-отрезные станки.....	76
2.1.1 Универсальные автономные		2.2.4.1 Общие сведения.....	76
станки.....	15	2.2.4.2 Ножовочные станки.....	77
2.1.2 Многостаночные системы.....	16	2.2.4.3 Циркулярные станки.....	77
2.1.3 Отличительные признаки.....	17	2.2.4.4 Пильные центры.....	77
2.1.3.1 Кинематика движения		2.2.4.5 Ленточнопильные станки.....	78
подачи материала.....	17	2.2.4.6 Специальные станки.....	80
2.1.4 Тип и количество осей.....	19	2.2.4.7 Станины и конструктивные	
2.1.5 Параллельная		формы.....	81
и последовательная кинематика.....	22	2.2.5 Зубофрезерные станки.....	82
2.2 Типы станков.....	23	2.2.5.1 Введение.....	82
2.2.1 Токарные станки.....	23	2.2.5.2 Мягкая обработка.....	83
2.2.1.1 Введение.....	23	2.2.5.3 Финишная обработка	
2.2.1.2 Классификация и названия.....	24	инструментом из твердого сплава.....	87
2.2.1.3 Универсальные токарные		2.2.6 Шлифовальные станки.....	88
станки (токарные станки		2.2.6.1 Обзор.....	88
для мастерских).....	25	2.2.6.2 Шлифовальные	
2.2.1.4 Модульные настраиваемые		обрабатывающие центры.....	90
токарно-фрезерные центры.....	28	2.2.6.3 Плоскошлифовальные станки.....	91
2.2.1.5 Вертикальные токарные		2.2.6.4 Круглошлифовальные	
станки.....	29	станки.....	92
2.2.1.6 Токарный автомат.....	30	2.2.6.5 Универсальные	
2.2.1.7 Многошпиндельные токарные		круглошлифовальные станки.....	93
автоматы.....	32	2.2.6.6 Большие шлифовальные	
2.2.1.8 Большие токарные станки.....	35	станки.....	94
2.2.1.9 Карусельные токарные		2.2.7 Шлифовальные и заточные	
станки.....	36	станки для инструментов.....	96
2.2.1.10 Токарно-протяжные станки.....	37	2.3. Конструкция, компоненты	
2.2.1.11 Сверточные токарные		и элементы машин.....	97
станки.....	37	2.3.1 Основные приводы	
2.2.1.12 Приспособления		и шпиндели инструментов.....	97
для крепления заготовок.....	38	2.3.1.1 Общие сведения.....	97
2.2.2 Фрезерные станки		2.3.1.2 Обычный основной привод.....	98
и обрабатывающие центры.....	43	2.3.1.3 Коробка передач.....	100

2.3.1.4 Встроенные двигатели шпинделей.....	104
2.3.1.5 Подшипник качения.....	107
2.3.1.6 Гидростатическая шпиндельная опора.....	114
2.3.1.7 Аэростатическая шпиндельная опора.....	115
2.3.1.8 Магнитный подшипник	116
2.3.1.9 Мотор-шпиндели.....	117
2.3.1.10 Шпиндели внешнего привода и модульные шпиндели передач.....	120
2.3.2 Системы подачи.....	121
2.3.2.1 Обзор и общие требования.....	121
2.3.2.2 Аспекты дизайна.....	127
2.3.2.3 Шарико-винтовая передача (ШВП).....	132
2.3.2.4 Роликовинтовая передача (РВП).....	140
2.3.2.5 Реечные приводы.....	142
2.3.2.6 Прямые приводы.....	145
2.3.2.7 Кинематика с дополнительными осями.....	148
2.3.2.8 Весовое уравнивание.....	153
2.3.2.9 Системы измерения длины и системы измерения угла.....	154
2.3.3 Централизованная система смазки.....	158
2.3.4 Закладка фундамента.....	159
2.4 Сертификация металлорежущих станков.....	160
2.4.1 Введение и обзор.....	160
2.4.2 Прямые измерения свойств станков.....	161
2.4.3 Образцы для приемки и тестирования.....	167
2.4.4 Проверка возможностей.....	171

3 Абразивные станки.....174

3.1 Электроэрозионные станки (EDM).....	174
3.1.1 Станки для электро-эрозионного погружения.....	174
3.1.2 Станки для электро- эрозионного сверления.....	178
3.1.3 Станки для электро- эрозионного резания.....	179
3.2 Электрохимические абразивные станки (ЕСМ).....	180
3.2.1 Станки для электро- химического погружения.....	180

3.2.2 Станки для электро- химического зачищения и/или полировки.....	181
3.3 Лазерные шлифовальные станки.....	182
3.4 Оборудование для гидро-абразивной резки.....	184
3.5 Ультразвуковые эрозионные станки.....	186

4 Станки для формоизменения давлением и разрубанием.....187

4.1 Основы.....	187
4.1.1 Определение.....	187
4.1.2 Историческое развитие и значение.....	188
4.2 Классификация.....	191
4.3 Компоненты прессов.....	192
4.3.1 Дифференциация.....	192
4.3.2 Корпусы станка.....	192
4.3.3 Штоки и столы пресса.....	195
4.3.4 Направляющие.....	195
4.3.5 Приводы.....	198
4.4 Параметры.....	201
4.5 Прессы.....	204
4.5.1 Траекторные прессы.....	204
4.5.1.1 Конструкция.....	204
4.5.1.2 Типы передачи.....	206
4.5.1.3 Устройства для настройки зоны движения штока.....	212
4.5.2 Прессы с фиксированным усилием.....	214
4.5.3 Формовочные машины, работающие на энергии удара.....	217
4.5.3.1 Молоты.....	217
4.5.3.2 Шпиндельные прессы.....	220
4.5.3.3 Сервопрессы.....	222
4.5.3.4 Периферия пресса.....	227
4.6 Штамповочные станки с ЧПУ....	231
4.7 Гибочные станки с ЧПУ.....	232
4.7.1 Трубогибочный и штангогибочный станок с ЧПУ.....	232
4.7.2 Листогибочные прессы с ЧПУ....	233
4.8 Гибкие системы обработки листового металла.....	234
5 Станки для первичного формообразования.....	235
5.1 Введение.....	235

5.2 Станки для литья под давлением.....	236	6.4.7 Статическая податливость.....	282
5.2.1 Литьевые машины с горячей и холодной камерой.....	236	6.4.8 Другие особенности.....	282
5.2.2 Конструкция.....	238	6.5 Частотные характеристики приводов осей.....	283
5.2.3 Последовательность операций.....	239	7 3D-принтеры/АП-машины.....	284
5.2.4 Машины Vascral для литья под давлением	240	7.1 Аддитивное производство (АП), обзор.....	284
5.2.5 Параметры процесса.....	240	7.1.1 Функция аддитивных производственных процессов	284
5.2.6 Гибкие литейные ячейки.....	241	7.1.2 Технологическая цепочка.....	284
5.3 Станки для пластмасс.....	242	7.1.3 Разрешение и точности.....	285
5.3.1 Термопластавтоматы.....	242	7.2 Классификация метода построения слоя.....	286
5.3.1.1 Экономическое значение.....	242	7.3 Процессы и технологии.....	288
5.3.1.2 Историческое развитие.....	242	7.3.1 Лучевое плавление.....	288
5.3.1.3 Принцип действия.....	243	7.3.2 Процесс 3D-печати.....	289
5.3.1.4 Стандартный цикл.....	244	7.3.3 Стереолитография – SL.....	290
5.3.1.5 Основные элементы машины..	245	7.3.4 Моделирование плавленных слоев – FLM.....	290
5.3.1.6 Функциональные блоки.....	248	7.3.5 Слоистое ламинатное производство – LLM.....	290
5.3.1.7 Параметры процесса.....	253	7.4 Строение аддитивного производственного оборудования... 291	
5.3.1.8 Дальнейший процесс литья под давлением.....	256	7.4.1 Строительная поверхность X–Y.....	291
5.3.2 Машины для литья пены.....	259	7.4.2 Ось Z.....	293
5.3.2.1 Частицы пены.....	259	7.4.2.1 Ось Z в обычных системах.....	293
5.3.2.2 Реакционное литье.....	259	7.4.2.2 Безопочное изготовление.....	295
5.3.2.3 Литьевые машины для смолы.....	260	7.4.2.3 Непрерывная 3D-печать.....	296
5.3.3 Выдувные машины.....	261	7.4.2.4 Параллельная кинематика.....	297
5.3.4 Термоформовочные машины.....	262	7.4.2.5 Портальная установка «контурная обработка».....	298
6 Промышленные роботы.....	263	7.4.3 Технологическая камера.....	299
6.1 Роботы для обработки.....	263	7.4.4 Корпусы станка.....	299
6.2 Кинематическая конструкция....	265	7.5 Конструкция систем порошковой обработки.....	300
6.3 Конструкция и комплектующие.....	268	7.5.1 Системы покрытия.....	300
6.3.1 Ручные оси.....	268	7.5.2 Подача порошка.....	301
6.3.2 Редуктор.....	270	7.5.3 Создание запасов материала.....	302
6.3.3 Весовое уравнивание.....	272	7.5.4 Формующий контейнер.....	302
6.4 Измерения и квалификация.....	274	7.6 Устройство систем переработки жидкости.....	303
6.4.1 Обзор и общие положения.....	274	7.7 Конструкция ламинирующих систем.....	305
6.4.2 Позиции точности и повторяемости.....	275	7.7.1 Снабжение материалами.....	305
6.4.3 Линейная точность/траекторная точность.....	278	7.7.2 Обрезание по контуру.....	305
6.4.4 Точность формы/поверхностная точность.....	279	7.7.3 Соединение слоев.....	306
6.4.5 Динамическое поведение движения.....	280	7.8 Печатные системы.....	307
6.4.6 Время стабилизации положения.....	281	7.8.1 Общие положения.....	307

7.8.2 Способы печати.....	308	9.1.6 Аккумулятор.....	344
7.8.3 Разрешение, точность, частота.....	311	9.1.7 Управление.....	345
7.8.4 Конструкция печатных систем.....	312	9.1.7.1 Эластичность компонентов....	345
7.9 Лазерные системы.....	313	9.1.7.2 Первичный контроль.....	345
7.10 Система масок.....	315	9.1.7.3 Вторичное управление.....	345
7.11 Тепловая система форсунок.....	316	9.2 Пневматика.....	347
7.11.1 Экструзионные головки для проволоочных материалов.....	316	9.2.1 Генерация сжатого воздуха.....	347
7.11.2 Экструзионные головки для термически пластифицированных материалов.....	317	9.2.2 Сеть сжатого воздуха.....	348
7.11.3 Экструзионные головки для термически расплавленных металлов.....	317	9.2.3 Клапаны.....	348
7.12 Гибридные системы.....	318	9.2.4 Приводы.....	349
8 Координатно-измерительные машины.....	319	10 Электрическое управление и приводы.....	351
8.1 Сравнение координатно- измерительной машины и станка..	319	10.1 Система ЧПУ.....	351
8.2 Обзор координатно- измерительных систем.....	321	10.1.1 Основной принцип и интерфейсы.....	352
8.3 Конструкции координатно- измерительных машин, морфология.....	322	10.1.2 Кабель-каналы с ЧПУ, группы режимов работы.....	354
8.3.1 Портальная конструкция.....	322	10.1.3 Измерительные системы.....	356
8.3.2 Мостовая конструкция.....	324	10.1.4 Программирование ЧПУ.....	358
8.3.3 Корпусная конструкция или горизонтальная конструкция с кронштейном.....	325	10.1.5 Функциональные расширения.....	359
8.3.4 Консольная конструкция.....	326	10.1.5.1 Коррекция инструмента.....	359
8.3.5 Другие виды конструкций.....	327	10.1.5.2 Компенсации.....	360
8.4 Выбор материала.....	328	10.1.5.3 Трансформации.....	361
8.5 Технология установки.....	330	10.1.5.4 Электрическая передача.....	362
8.6 Приводы.....	332	10.1.5.5 Контроль состояния инструмента.....	362
8.7 Измерительные системы.....	334	10.1.5.6 Мониторинг столкновений....	363
8.8 Коррекция ошибок и методы коррекции.....	335	10.1.5.7 Виртуальные машины.....	363
8.9 Основание, измерительная пластина и монтаж инструмента....	338	10.1.5.8 Открытость в ядре ЧПУ.....	363
9 Гидравлика и пневматика.....	340	10.1.6 Постпроцессор.....	364
9.1 Гидравлика.....	340	10.1.7 Интерфейсы связи.....	365
9.1.1 Гидростатика	340	10.1.8 Аппаратное обеспечение.....	366
9.1.2 Гидромасло.....	341	10.1.9 Архитектура программного обеспечения.....	366
9.1.3 Гидравлическая станция.....	342	10.2 Управление роботом.....	367
9.1.4 Конструкции для цилиндра.....	343	10.2.1 История.....	367
9.1.5 Клапаны.....	343	10.2.2 Основы управления движением.....	368
		10.2.2.1 Трансформации координат и расчеты к кинетике.....	369
		10.2.2.2 Интерполяция.....	371
		10.2.2.3 Взаимосвязь и разъединение осей.....	373
		10.2.2.4 Точная интерполяция.....	374
		10.2.2.5 Осевое регулирование.....	374
		10.2.3 Системы координат пользователя.....	375
		10.2.4 Технологическое управление.....	376

10.2.5 Программирование роботов.....	378	11.1.4 Пример выполнения «Safety Integrated» («комплексной безопасности»).....	394
10.2.6 Системы безопасности.....	379	11.2 Европейские стандарты безопасности.....	395
10.2.7 Ввод в эксплуатацию/сервис...	380	11.3 Документация.....	396
10.3 Техника привода.....	381	11.3.1 Общее о документации.....	396
10.3.1 Основной принцип преобразователя.....	382	11.3.2 Требования к документации....	396
10.3.2 Электродвигатели подачи.....	384	11.3.3 Сопровождающая документация станка.....	396
10.3.2.1 Вращательные электродвигатели подачи.....	384	11.3.4 Различные формы документации.....	397
10.3.2.2 Прямые приводы.....	385	11.3.5 Поддержка приложений.....	398
10.3.3 Основные приводы.....	386	11.3.5.3 Видеоучебные пособия.....	399
10.3.4 Вспомогательные приводы.....	388	11.3.6 Создание документации.....	399
10.3.5 Энергосбережение.....	388	11.4 Диагноз, дистанционное обслуживание.....	400
10.3.6 Параметры привода.....	389	11.4.1 Техническое обслуживание.....	400
11 Профильные задачи.....	391	11.4.2 Диагностика.....	400
11.1 Функциональная безопасность.....	391	11.5 Модернизация.....	403
11.1.1 Введение.....	391	Библиография.....	404
11.1.2 Оценка факторов риска.....	392	Каталог источников изображения..	408
11.1.3 Принцип интегрированной системы безопасности.....	393		

1 Введение

1.1 Отраслевая характеристика

В станкостроительной отрасли Германии насчитывается около 70 000 человек, выручка составляет около 14 миллиардов евро (рис. 1), из которых 9 миллиардов евро приходится на выручку от зарубежных компаний [009-1]. Германия, наряду с Японией, является мировым лидером в области станкостроения. Сильные конкуренты, кроме Японии, есть в Италии и Швейцарии, Восточной Европе и азиатских странах, таких как Китай и Южная Корея.

Разработка станков характеризуется постоянно возрастающей эффективностью, т.е.

- сокращением времени производства,
- повышением точности,
- возможностью обработки деталей все более сложной геометрии,
- большой гибкостью в отношении различных заготовок и материалов и
- снижением потребления ресурсов.

Между станкостроением, с одной стороны, автомобильной промышленностью и машиностроением – как основными заказчиками (рис. 2) – с другой стороны, существует симбиотическая связь. Высокопроизводительный станок необходим для производства транспортных средств и машин, и наоборот, требования этих отраслей к производителям станков являются основными стимулами для развития станкостроительной отрасли. В связи с ведущей ролью автомобильной и машиностроительной промышленности в целом в нашем обществе станкостроительная промышленность вместе с производителями инструментов стала ключевой отраслью. Все промышленные товары, прямо или косвенно, производятся с помощью станков.

Во всем мире значительная доля станков на автомобильных или машиностроительных производствах приходится на станки немецких, швейцарских и итальянских производителей. Коэффициент экспорта составляет около 60%. В настоящее время основными рынками сбыта (рис. 3) являются, кроме стран ЕС, такие страны, как Китай, США и Россия.

Станкостроительная промышленность состоит преимущественно из предприятий среднего размера: 7% производителей имеют в своем штате более 1000 сотрудников, а 54% компаний используют труд менее 250 сотрудников на 1 предприятии [009-1].

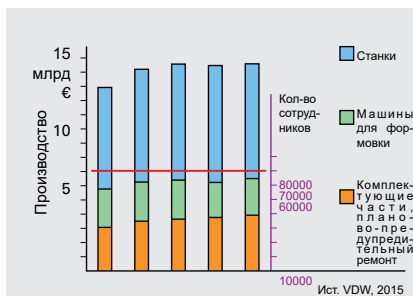


Рис. 1: Оборот и количество работников в немецкой станкостроительной промышленности



Рис. 2. Пользователи станкостроительной отрасли

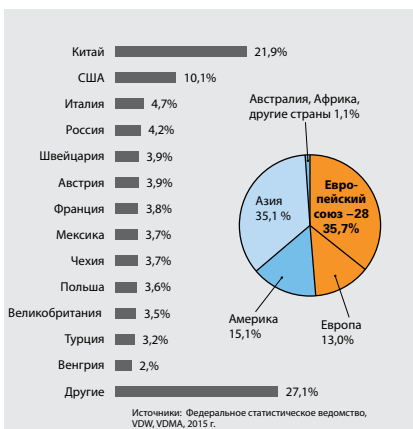


Рис. 3: Экспорт в немецкой станкостроительной промышленности

1.2 Классификация

В зависимости от применяемых в них производственных процессов и согласно DIN 8580, станки разделяются на группы: станки для формования, штамповки, резки, соединения, для нанесения покрытий, а также станки для изменения свойств материала. В промышленном обществе, производство осуществляется с помощью механических устройств (англ. machine tools) – станков. Наиболее экономически значимыми для Германии являются такие станки, как металлорежущие и станки для штамповки.

- металлорежущие станки
- станки для штамповки (табл. 1).

Таблица 1: Производство станков в Германии, доля оборота	
Обработывающие центры, гибкие системы	12,6%
Токарные станки и токарные центры	10,6%
Шлифовальные, хонинговальные, притирочные станки	8,2%
Фрезерные станки	6,7%
Многопозиционные автоматы с прямолинейной подачей, станки для многосторонней обработки	5,9%
Зуборезные и зубофрезерные станки	3,6%
Лазерные, ультразвуковые, ионно-лучевые и плазменно-лучевые станки	2,7%
Пильные, режущие станки	1,3%
Сверлильные, расточные и фрезерные станки	1%
Сверлильные станки	0,6%
Электроэрозионные станки	0,6%
Другие металлорежущие машины	0,7%
Режущие и абразивные станки, всего	54,5%
Прессы	8,3%
Гибочные, кантовочные, правильные машины	3,9%
Станки для резки и штамповки	2,9%
Ковочные машины и ковочные молоты (включая прессование)	1,9%
Машины для обработки и переработки проволоки	1,8%
Другие формовочные машины	3,2%
Машины для формовки и разрубки, всего	22%
Детали и принадлежности для станков, всего	15,8%
Установка, ремонт/техническое обслуживание, всего	7,7%
Всего (источник VDW, 2015)	100%

Станки – это механизированные и в разной степени автоматизированные производственные установки, которые производят изделия заданной формы или изменяют форму заготовок путем относительных перемещений между инструментом и заготовкой, DIN 69 651-1 [010-2].

При **формовке** на производственной установке, например, **прессе**, путем пластического изменения твердого тела, например, листа, с помощью инструмента, изготавливают кузовные детали. Если установить режущий инструмент, то такой пресс станет **машиной для разрубки**. Для разрубки, а также для формовки обычно используются прессы или молоты. Во время **резки** прочность материала частично снижается вследствие **снятия стружки** или **съем** материала. Такие производственные процессы также называют **субтрактивными**. Извлечение материала путем формирования стружки осуществляется с помощью **металлорежущих станков**. Эти машины используют фасонные инструменты, например, ступенчатые сверла или универсальные инструменты (например, токарные инструменты), и необходимая деталь создается относительным пространственным перемещением режущего инструмента и заготовки. Основными металлообрабатывающими станками с **режущей кромкой с фиксированной геометрией** являются токарные, фрезерные, сверлильные, пильные и зубофрезерные станки. Основными металлообрабатывающими станками с **режущей кромкой с нефиксированной геометрией** являются шлифовальные, хонинговальные и притирочные станки. Станки, которые частично удаляют материал посредством излучения или эрозии, называются **абразивными станками**. Они работают либо с фасонными, либо универсальными инструментами, такими как, например, струйное сопло или проволока, и придают форму заготовке посредством относительного перемещения заготовки и инструментом, при помощи, например, электроэрозионной обработки. Станки, совмещающие в себе несколько операций, называются **обрабатывающими центрами**. Машины, в которых используется бесформенный материал, то есть заготовка отсутствует как таковая, по стандарту DIN 69 651-1 не являются станками, даже если они схожи со станками с технологической точки зрения. К таким машинам относятся **термопластавтоматы** и **инжекционно-литьевые машины**. Они очень похожи на прессы. В процессах **аддитивного производства/3D-печати**, материалах всех видов, например, металлы или полимеры в форме порошка, а также в виде жидкости или газа, переводятся в твердую форму; посредством наращивания или добавления новых, в большинстве случаев, тонких, слоев. **Инструменты работают точно, линейно или послойно**. Все схожие машины часто называют **3D-принтерами**. При этом эти машины, например, функционально и технически относятся к принтерам. В связи с увеличением значимости таких машин в производстве деталей они также включены в эту книгу и рассматриваются как своеобразные *станки будущего*.

1.3 Этапы развития промышленной техники

Первая промышленная революция

Первая промышленная революция началась, приблизительно, в 1800 году с механизации производства посредством паровой силы (рис. 1). Мышечная сила людей и животных и, частично, сила водного потока были заменены паровыми машинами. К концу XVIII века в качестве приводящих агрегатов стали использоваться электродвигатели и двигатели внутреннего сгорания. Прежние мануфактуры переросли в заводы. Промышленность стала выпускать *серии одинаковых деталей*.

Первая промышленная революция

Вторая промышленная революция ознаменовала собой начало массового производства с помощью машин с электроприводом. Так, с начала XX века, промышленность, помимо оружия, стала производить автотранспортные средства и бытовые устройства в больших количествах (рис. 2).

Третья промышленная революция

Третья промышленная революция началась около 1970 года с началом использования транзисторов и диодов для цифровой обработки данных в контроллерах машин. Началось числовое (цифровое) управление промышленными машинами. Стали появляться числовые контроллеры и числовое программное управление, ЧПУ (англ. Numerical Control). **Машины с ЧПУ (рис. 3)** постепенно стали заменять машины с ручным и механическим автоматическим управлением. Настоящий прорыв произошел с разработкой интегральных схем и микропроцессоров и их интеграцией в системы управления и сами продукты, например, в виде микроЭВМ или в качестве программного управления от запоминающего устройства (ЗУ).

С тех пор стали активно внедряться **автоматизированные системы**:

- **САПР**, или системы автоматизированного проектирования (англ. CAD), для черчения и конструирования (рис. 4),
- **САМ**-системы (системы автоматизированного производства),
- **САQ**-системы (Quality-Assurance) для проверки качества и
- **СІМ**-системы (компьютерное интегрированное производство) для всей производственной цепочки¹.



Рис. 1: Паровой молот Джеймса Несмита, 1839 г.¹



Рис. 2: 10-тысячный автомобиль фирмы Opel сходит с конвейера (1931)



Рис. 3: Числовое программное управление с вводом данных с перфоленты (1970)



Рис. 4: Двухмерная САПР (система автоматизированного проектирования) (1998)

¹ Джеймс Несмит, (1808–1890) – шотландский художник и инженер. Считается изобретателем парового молота и парового копра.

Четвертая промышленная революция

Четвертая промышленная революция началась примерно в 2000-х годах, с повсеместным развитием Интернета.

Интернет¹ внедрялся с 1980 года, изначально в качестве платформы для обмена данными между суперкомпьютерами вычислительных центров и научно-исследовательских институтов. Тем временем Интернет охватил все сферы жизни общества и стал решающим фактором во многих процессах. Он больше не используется только для передачи информации, но стал неотъемлемой частью управления и регулирования различных процессов и операций. По всему миру насчитывается более полуллиарда веб-серверов.

С помощью Интернета теперь

- осуществляются банковские операции,
- обрабатываются налоговые декларации,
- посредством интернет-телефонии совершаются звонки,
- производится заказ товаров и их передача клиенту,
- осуществляется запуск и контроль производственных процессов.

Крупномасштабное и длительное отключение Интернета станет серьезной, опасной для жизни катастрофой.

Интеграция в повседневный быт электроники с выходом в Интернет, например, в мобильные телефоны, камеры, автомобили, машины и оборудование обеспечивает всеобъемлющий обмен информацией и позволяет удаленно запускать и управлять запущенными процессами (рис. 1).

Объединение физических технологий с виртуальными программными процессами дает рождение «Интернету вещей и услуг» и знаменует собой четвертую промышленную революцию.

С внедрением «Индустрии 4.0» начнется четвертая промышленная революция, а именно произойдет объединение машин, систем и продуктов, а также сопутствующих услуг в общую цифровую сеть.

Вызовы «Индустрии 4.0»

Контроллеры производственных машин (ПЛК) уже давно представляют собой свое проприетарное (т. е. специфичное для определенной компании) программное и аппаратное обеспечение, с проблемой несовместимости и невозможности обме-

на данными с продуктами конкурирующих компаний. Между тем, эти устройства могут быть подключены к сети по стандартам IP. Объединенные в сеть устройства имеют все преимущества стандартизации и преимущества удаленного обслуживания и удаленного управления. Но есть один серьезный недостаток, который заключается в том, что такие системы становятся уязвимыми для хакерских атак.

Определенные **риски** возможны вследствие возникновения ошибок или саботажа в сетях, например, вследствие сбоя или нарушения схем подключения серверов, что может негативно отразиться на передаче данных, производстве, логистике и энергетике производственных процессов (рис. 2).

Следует упомянуть и опасность использования злоумышленниками шпионских программ и т. н. *malware*² (вредоносных программ), действие которых деструктивно и способно нарушить производство.

Информационные системы общего типа часто связаны или интегрированы с контроллерами предприятия. Здесь необходима достаточная сегрегация, чтобы предотвратить распространение вредоносных программ и шпионских программ через границы подсистемы.



Рис. 1: Контроль температуры с помощью смартфона



Рис. 2: Сбой в работе IT-отдела

¹ Интернет с англ. «объединенная сеть» = сеть связанных между собой сетей.

² Вредоносные программы, от англ. *malware* – производное от англ. *malicious* = «вредоносный» и *software* – «программное обеспечение».