

Р. Б. Марголит

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УЧЕБНИК ДЛЯ СПО

Рекомендовано Учебно–методическим отделом среднего профессионального образования в качестве учебника для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования

**Книга доступна в электронной библиотечной системе
biblio-online.ru**

Москва ■ Юрайт ■ 2017

УДК 621(075.32)
ББК 34.5я723
М25

Автор:

Марголит Ремир Борисович — кандидат технических наук, доцент, почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, Заслуженный машиностроитель РСФСР, профессор кафедры механико-технологических дисциплин факультета дневного обучения Рязанского института (филиала) Московского политехнического университета.

Рецензенты:

Борискин О. И. — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инструментальных и метрологических систем, директор Политехнического института Тульского государственного университета;

Мусолин А. К. — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации информационных и технологических процессов Рязанского государственного радиотехнического университета;

Иванайский А. В. — профессор, доктор технических наук, профессор Московского политехнического университета.

Марголит, Р. Б.

М25 Технология машиностроения : учебник для СПО / Р. Б. Марголит. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 413 с. — (Серия : Профессиональное образование).

ISBN 978-5-534-05223-7

В учебнике приведены материалы, необходимые для изучения учебной дисциплины «Технология машиностроения» специальности «Технология машиностроения» и смежных специальностей. Учебник разработан с учетом специфики обучения специалистов, предусматривающей приобретение значительного объема знаний путем самостоятельного и практического обучения, в том числе с использованием технической литературы.

Учебник ориентирован на изучение опыта современных высокотехнологичных решений в условиях серийного и мелкосерийного производства, характерных для отечественной промышленности.

Содержание учебника соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования и профессиональным требованиям.

Для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования, обучающихся по инженерно-техническим специальностям.

УДК 621(075.32)

ББК 34.5я723



Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».

ISBN 978-5-534-05223-7

© Марголит Р. Б., 2017

© ООО «Издательство Юрайт», 2017

Оглавление

Предисловие	6
Глава 1. Введение в технологию машиностроения	10
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	<i>13</i>
Глава 2. Критерии оценки технологических процессов.....	14
2.1. Экономичность технологических процессов.....	14
2.2. Производительность труда.....	18
2.2.1. Понятие о производительности и трудоемкости.....	18
2.2.2. Пути сокращения подготовительно-заключительного времени.....	19
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	<i>21</i>
Глава 3. Пути сокращения времени цикла обработки	22
3.1. Пути сокращения основного времени	22
3.2. Пути сокращения вспомогательного времени.....	28
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	<i>31</i>
Глава 4. Гибкость, надежность, ресурсосбережение, техника безопасности и охрана труда	32
4.1. Гибкость технологических процессов	32
4.2. Надежность технологических процессов	37
4.3. Ресурсосбережение	43
4.4. Показатель охраны труда и техники безопасности	45
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	<i>45</i>
Глава 5. Особенности фрезерования	47
5.1. Фрезерование и его виды.....	47
5.2. Особенности цилиндрического фрезерования.....	48
5.3. Особенности торцового фрезерования	51
5.4. Комбинированная обработка.....	54
<i>Вопросы для самопроверки</i>	<i>57</i>
Глава 6. Особенности точения	58
6.1. Определение точения	58
6.2. Режущие инструменты при различных условиях обработки	59
6.3. Режимы токарной обработки.....	67
6.4. Трудоемкость токарной обработки	71
<i>Вопросы для самопроверки</i>	<i>72</i>
Глава 7. Особенности сверления, зенкерования и развертывания	73
7.1. Сверление	73
7.2. Зенкерование.....	78

7.3. Развертывание	79
7.4. Особенности работы многофункциональных инструментов.....	83
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	85
Глава 8. Особенности шлифования	86
8.1. Виды шлифования.....	86
8.2. Шлифовальные круги и абразивные материалы.....	95
8.3. Правка шлифовальных кругов.....	104
<i>Вопросы для самопроверки</i>	112
Глава 9. Технологические возможности станков с ЧПУ.....	114
<i>Вопросы для самопроверки</i>	120
Глава 10. Обработка валов	122
10.1. Заготовки валов	122
10.2. Подготовка баз на заготовках валов	127
10.3. Токарная обработка наружной поверхности	131
10.4. Станки для обработки валов	132
10.5. Крепежные приспособления	135
10.6. Резцы для обработки наружных поверхностей валов	136
10.7. Типы поверхностей и требования к ним	137
10.8. Формы центровых отверстий.....	140
10.9. Формы и типы резьбы	141
10.10. Типы шлицевых поверхностей.....	142
10.11. Принципы построения технологических процессов обработки валов	149
10.12. Технологический процесс обработки вала.....	151
10.12.1. Операция 05, подготовка баз.....	156
10.12.2. Операция 10, токарно-сверлильно-фрезерная	158
10.12.3. Операция 15, термическая	162
10.12.4. Операция 20, шлице-фрезерная.....	164
10.12.5. Операция 25, закалка ТВЧ.....	166
10.12.6. Операция 30, центрo-шлифовальная	167
10.12.7. Операция 35, токарная чистовая	169
10.12.8. Операция 40, шлице-шлифовальная	174
10.13. Обработка валов большой длины.....	176
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	181
Глава 11. Обработка фланцев	183
11.1. Конструкция деталей типа фланцы	183
11.2. Станки для обработки фланцев.....	184
11.3. Режущие инструменты для обработки фланцев	188
11.4. Зажимные устройства.....	192
11.5. Построение обработки.....	198
11.6. Пример обработки фланца	200
11.7. Протягивание шпоночных пазов	205
11.8. Особенности обработки фланцев со шлицевыми отверстиями.....	206
11.9. Изготовление шкивов	211
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	218

Глава 12. Обработка гильз. Прутковая обработка	219
12.1. Общие положения.....	219
12.2. Токарная обработка гильз	220
12.3. Сверление и растачивание гильз	224
12.4. Технология обработки гильз	226
12.5. Прутковая обработка.....	234
<i>Вопросы для самопроверки</i>	236
Глава 13. Изготовление корпусных деталей.....	237
13.1. Общие подходы к обработке корпусных деталей	237
13.2. Станки с ЧПУ для обработки корпусных деталей	240
13.3. Обработка плоских поверхностей	244
13.4. Обработка отверстий больших диаметров	249
13.5. Обработка отверстий малых диаметров	271
13.6. Снятие заусенцев и притупление острых кромок.....	279
13.7. Особенности построения технологического процесса, последовательность обработки	292
13.8. Методика назначения припусков на технологические переходы	302
<i>Вопросы для самопроверки</i>	304
Глава 14. Обработка базовых деталей	305
14.1. Заготовки базовых деталей.....	305
14.2. Станки для обработки базовых деталей	310
14.3. Вибрационное старение базовых деталей.....	315
14.4. Технология изготовления станин металлообрабатывающих станков.....	318
14.5. Накладные направляющие в станинах	326
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	334
Глава 15. Технология изготовления зубчатых передач.....	335
15.1. Общие сведения о способах зубообработки.....	335
15.2. Способы предварительной зубообработки.....	339
15.3. Способы финишной зубообработки	353
15.4. Параметры точности зубчатых венцов цилиндрических зубчатых передач	364
15.4.1. Нормы кинематической точности	367
15.4.2. Нормы плавности	370
15.4.3. Нормы контакта	371
15.5. Проверка размеров зубчатых венцов.....	372
15.6. Проблемы изготовления малозумных зубчатых передач.....	378
15.7. Особенности изготовления арочных зубчатых передач	381
<i>Вопросы для самопроверки</i>	385
Глава 16. Технология изготовления винтовых передач	386
16.1. Назначение и виды винтовых передач.....	386
16.2. Изготовление винтовых пар скольжения	392
16.3. Изготовление винтовых пар качения.....	403
<i>Вопросы для самопроверки</i>	409
Список литературы.....	411
Новые издания по дисциплине	413

Предисловие

Технология машиностроения — наука о способах изготовления изделий машиностроительного и приборостроительного комплексов. Учебный курс «Технология машиностроения» является второй частью дисциплины «Основы технологии машиностроения». Она призвана дать студентам знания, необходимые для формирования соответствующего уровня специалистов современного машиностроительного производства, и тесно связана с рядом других курсов:

- «Информатика»;
- «Основы новых компьютерных технологий в машиностроении»;
- «Математическая статистика»;
- «Технологические процессы в машиностроении»;
- «Процессы и операции формообразования»;
- «Режущий инструмент»;
- «Технологическая оснастка»;
- «Оборудование машиностроительных производств»;
- «Проектирование и производство заготовок»;
- «Проектирование машиностроительного производства»;
- «Материаловедение»;
- «Управление качеством продукции»;
- «Автоматизация производственных процессов в машиностроении»;
- «Автоматизация технологии сборки»;
- «Технология обработки на станках с ЧПУ»;
- «Нетрадиционные методы обработки материалов»;
- «Основы САПР»;
- «Управление технологическими процессами на оборудовании с ЧПУ»;
- «Экономика машиностроительного производства»;
- «Безопасность жизнедеятельности»;
- «Экология».

Один из действенных методов углубления связи обучения с производством получил название *проектного обучения* (проектного образования). Проектное обучение призвано устранить разрыв между теорией и практикой инженерного образования. Этот подход предполагает усиление практической направленности обучения.

В последние годы проектное обучение принимает международные масштабы. В основе стандартов Всемирной инициативы CDIO «*Conceive — Design — Implement — Operate*» лежит освоение студентами инженерной деятельности.

Проектный подход теперь начинает действовать с первых дней учебы в ссузе. Обучение должно сформировать из учащихся полноценных специалистов, способных приступить к работе с необходимой отдачей сразу после окончания ссуза.

Согласно учебному графику проводится практика на промышленном предприятии, а также два занятия в неделю непосредственно по проектному обучению: одно — аудиторное, второе — самостоятельное.

В самом начале обучения, в первом семестре, начинается первая стадия проектного обучения — планирование дальнейших работ. Перед студентами ставится задача изготовления каких-либо изделий. На этой стадии необходимо решить, что изготавливать. Это могут быть относительно простые изделия, наглядные учебные пособия, детские развивающие игрушки, устройства и механизмы, макеты и модели.

Вторая стадия проектного обучения — проектирование запланированных изделий. Необходимо свои замыслы выразить в виде компьютерных 3D-моделей. Важно, чтобы студент прочувствовал взаимосвязь между замыслом и его отображением на компьютерной модели.

Следующие стадии проектного обучения — изготовление задуманного и спроектированного изделия и использование его по назначению. Перечисленные четыре стадии обучения отображены на рис. П.1.



Рис. П.1. Проектное обучение

В дальнейшем проекты должны усложняться и приобретать производственную направленность. Студенты обучаются работе в коллективе. Для проектирования изделия создаются группы из 5–6 человек. Подбираются темы проектов, в которых заинтересованы машиностроительные или приборостроительные предприятия, к которым прикреплены студенты. Предприятия выделяют каждому студенту в помощь наставника из числа квалифицированных специалистов.

На втором-третьем курсе студент получает в интересах предприятия индивидуальную тематику, которая предусматривает совершенствование действующего технологического процесса. По этой тематике студент выполняет целый ряд учебных заданий (а также курсовые проекты, курсовые и контрольные работы) по дисциплинам, перечисленным выше.

Все разработки студент использует в итоговой выпускной квалификационной работе.

Наставник на последнем этапе обучения становится руководителем выпускной квалификационной работы. Ее защита перед государственной комиссией будет проводиться на предприятии при участии представителей предприятий и организаций, заинтересованных в трудоустройстве выпускника.

Таким образом, проектное обучение дает возможность студенту приобрести опыт работы в коллективе, оно реализует связь обучения с производством, прививает навыки самостоятельной творческой работы, решает многие проблемы адаптации выпускника к последующей работе на промышленном предприятии.

В результате обучения дисциплине «Технология машиностроения» студент должен приобрести комплекс представлений, знаний, навыков и умений. Он должен иметь представление:

- о технологии машиностроения как науке о производстве;
- краткой истории развития производства и технологии машиностроения;
- путях и перспективе развития технологии машиностроения.

Студент должен освоить:

трудовые действия

- владение навыками работы на компьютерной технике для получения конструкторских и технологических документов;
- навыками проектирования типовых технологических процессов изготовления машиностроительной продукции;
- сбора и анализа исходных данных для проектирования технологических процессов изготовления машиностроительной продукции, средств технологического оснащения, автоматизации и управления;
- навыками выбора оборудования, режущих инструментов, средств контроля и технологического оснащения для реализации технологических процессов изготовления продукции;
- навыками разработки управляющих программ для обработки на станках с ЧПУ;
- навыками анализа технологических процессов и выбора функциональных схем их автоматизации;
- навыками наладки станков с ЧПУ и производственных модулей в составе гибких производственных систем;
- основными навыками выполнения научно-исследовательских работ;

необходимые умения

- использовать полученные знания для принятия решений;
- реализовывать принятые решения в практической деятельности;
- разрабатывать планы, программы, методики и другие текстовые документы, входящие в состав конструкторской, технологической и эксплуатационной документации;
- работать в коллективе над общими и индивидуальными проектами;
- применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов в машиностроительных производствах, современные методы разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых машиностроительных технологий;

необходимые знания

- основные положения и понятия технологии машиностроения, теории базирования и размерных цепей как средств обеспечения качества изделий машиностроения, закономерности и связи процессов проектирования и создания машин, методы разработки технологических и производственных

процессов изготовления машин, технологию сборки, правила разработки технологического процесса изготовления машиностроительных изделий;

- критерии оценки технологических процессов;
- пути повышения производительности труда, гибкости, надежности, экологичности и ресурсосбережения технологических процессов.

Глава 1

ВВЕДЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИЮ МАШИНОСТРОЕНИЯ

После изучения материала данной главы студент должен:

знать

- основные отрасли машиностроения;
- общие черты технологий в различных отраслях машиностроения;
- элементы и составные части технологического процесса механической обработки;

уметь

- различать основные и дополнительные элементы технологического процесса;

владеть

- терминологией и определениями составных частей технологического процесса;
-

Технология машиностроения — наука о способах изготовления изделий машиностроительного и приборостроительного комплексов. Она рассматривает ряд проблем: необходимость достижения высокой производительности труда и требуемого качества продукции, оснащение соответствующими средствами производства, изготовление продукции при наименьших затратах.

Без тесной связи с производством эта наука станет сугубо академической и бесплодной. Одновременно как наука технология машиностроения имеет серьезную теоретическую основу.

Характерной чертой современной технологии машиностроения является ее динамичное развитие, связанное с автоматизацией на основе компьютерных технологий.

Современное машиностроение включает в себя широкий круг производств (рис. 1.1).

При всем многообразии и особенностях отраслей машиностроения они имеют много общих черт. Все они используют однотипные детали: валы, втулки, зубчатые колеса, плоскостные, корпусные и базовые. Даже в такой специфической отрасли, как современное приборостроение, насыщенной электронными комплектующими, большое место занимает изготовление корпусов, связующих и крепежных изделий (рис. 1.2).

Различные по назначению детали имеют типовые поверхности, обработка которых может выполняться едиными способами: наружные и внутренние поверхности тел вращения, цилиндрические, конические и резьбовые отверстия в корпусных деталях, плоскости.



Рис. 1.1. Отрасли машиностроения



Рис. 1.2. Общие черты технологий в различных отраслях машиностроения

Много общих черт имеют сборочные процессы.

Прослеживается единство в методах контроля геометрической точности. При контроле оценивают различия между заданными и фактическими размерами, параметрами геометрической точности и взаимным расположением поверхностей.

В этой главе повторяются некоторые основополагающие понятия, с которыми студент ознакомился при изучении дисциплины «Основы технологии машиностроения».

Технологический процесс (ТП) является той частью производственного процесса, которая содержит целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда. К предметам труда относятся заготовки и изделия.

На схеме (рис. 1.3) представлены материальные элементы технологического процесса механической обработки.

Технологический процесс изготовления детали из заготовки путем механической обработки представляет собой взаимодействие при участии (или без участия) оператора следующих основных материальных элементов: металлорежущего станка, заготовки, крепежных приспособлений (КП), режущих (РИ) и вспомогательных (ВИ) инструментов, контрольно-измерительной оснастки (КИО). К дополнительным элементам ТП отнесены энергия, информация в виде управляющих программ станков с ЧПУ, смазочно-охлаждающие технологические средства (смазочно-охлаждающие жидкости, СОЖ), масла для смазки механизмов станка.

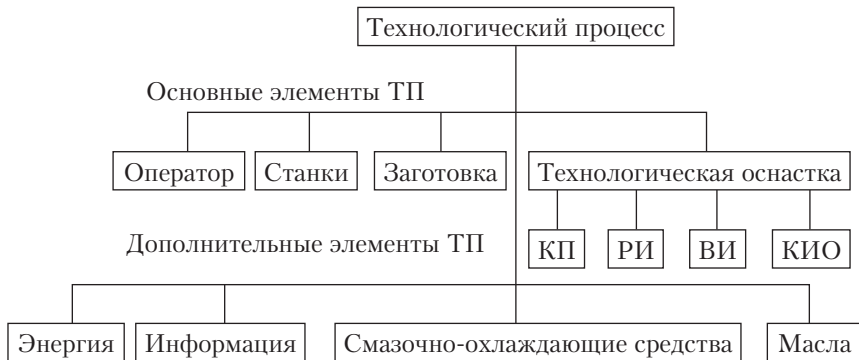


Рис. 1.3. Элементы технологического процесса механической обработки

В ходе механической обработки заготовка превращается в готовую деталь.

В технологическом процессе реализуются действия по формообразованию при обработке и сборке, перемещения, технический контроль и испытания. Рассмотрим структуру технологического процесса изготовления детали механической обработкой (рис. 1.4).

Технологическая операция — законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте.

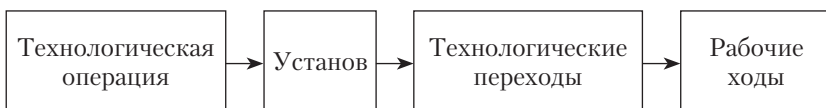


Рис. 1.4. Составные части технологического процесса механообработки

Установ — часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок.

Технологический переход — законченная часть технологической операции, выполняемая одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах и установке.

Рабочий ход — законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, качества поверхности и свойств заготовки.

Применяемые в науке, технике и производстве термины и определения основных понятий в области технологических процессов изготовления и ремонта изделий машиностроения и приборостроения перечислены в ГОСТ ЕСТД 3.1109–82.

Широкое распространение обработки на станках с ЧПУ потребовало некоторых изменений понятия «технологический переход». Требование постоянства режимов резания в данном случае использовать не следует, поскольку они могут изменяться не только многократно, но даже бесступенчато. Поэтому логичнее в понятие «технологический переход» вносить весь объем работ, выполняемый отдельным режущим инструментом. Тех-

нологический переход для станка с ЧПУ можно приравнять к инструментальному переходу. Такой подход к формированию операции позволит избежать ряда ошибок при проектировании обработки, таких как неоправданный возврат режущего инструмента в магазин с последующим возвращением его в работу через некоторое время.

Вопросы и задания для самопроверки

1. Назовите отрасли современного машиностроения.
2. Сформулируйте понятие «технологический процесс» в машиностроительном производстве.
3. Сформулируйте понятие «операция» технологического процесса механической обработки.
4. Что относится к материальным элементам операции механической обработки?
5. Из каких составных частей складывается операция механической обработки? Дайте им краткую характеристику.

Глава 2

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

После изучения материала данной главы студент должен:

знать

- показатели оценки технологических процессов;
- основной показатель оценки технологических процессов;
- перспективы объемной печати для изготовления деталей;

уметь

- определять трудоемкость и производительность труда;
- определять себестоимость изготавливаемых деталей;
- использовать групповые технологические процессы в практической деятельности;

владеть

- навыками выбора заготовки;
- способами повышения производительности и сокращения трудоемкости;
- путями сокращения подготовительно-заключительного времени.

Отдельная деталь может быть изготовлена с использованием различных технологических процессов. Могут различаться виды заготовки, степень автоматизации и оснащенность производства. Критерии оценки технологических процессов приведены на рис. 2.1.

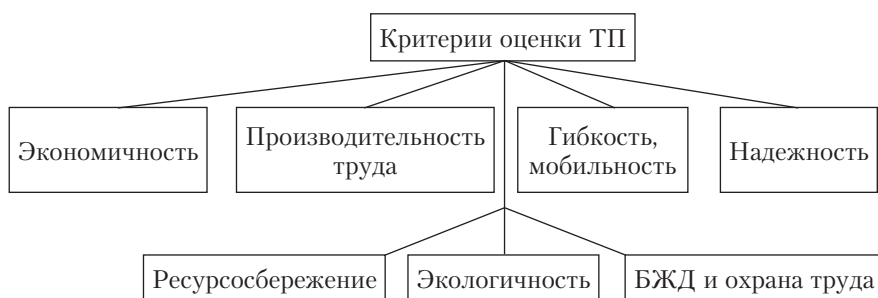


Рис. 2.1. Показатели оценки технологических процессов

2.1. Экономичность технологических процессов

Самым приоритетным показателем эффективности технологического процесса является экономичность.

Показатель экономичности технологического процесса — *себестоимость* изготовления детали. Этот показатель является обобщающим, складываю-

щимся из суммы себестоимостей отдельных элементов, составляющих технологический процесс, другими словами, из суммы затрат по различным показателям.

При проектировании технологического процесса из многих возможных вариантов технологических процессов изготовления детали необходимо выбрать тот, который имеет наименьшую себестоимость.

Себестоимость C изготовления детали равна сумме себестоимостей изготовления заготовки $C_{\text{заг}}$ и механической обработки $C_{\text{м.обр}}$.

$$C = C_{\text{заг}} + C_{\text{м.обр}}$$

Себестоимость заготовки складывается из стоимости материала M и затрат на ее изготовление $Z_{\text{изг.заг}}$:

$$C_{\text{заг}} = M + Z_{\text{изг.заг}}$$

Себестоимость механической обработки $C_{\text{м.обр}}$ суммируется из ряда составляющих (рис. 2.2):

$$C_{\text{м.обр}} = Z_{\text{м.обр}} + A_{\text{об}} + A_{\text{п.пл}} + A_{\text{пр}} + A_{\text{р.и}} + A_{\text{к.и.о}} + A_{\text{в.и}} + Z_{\text{ро}} + \text{Э} + \text{И} + \text{ВМ} + O_{\text{рм}}$$

где $Z_{\text{м.обр}}$ – заработная плата персонала, участвующего в механической обработке; $A_{\text{об}}$ – амортизация оборудования; $A_{\text{п.пл}}$ – амортизация производственных площадей; $A_{\text{пр}}$ – амортизация станочных крепежных приспособлений; $A_{\text{р.и}}$ – амортизация режущих инструментов; $A_{\text{к.и.о}}$ – амортизация контрольно-измерительной оснастки; $A_{\text{в.и}}$ – амортизация вспомогательных инструментов, служащих для соединения режущих инструментов с рабочими органами станков; $Z_{\text{ро}}$ – затраты на ремонт оборудования; Э – затраты на электроэнергию; И – затраты на информационное обеспечение; ВМ – затраты на вспомогательные материалы; $O_{\text{рм}}$ – затраты на оборудование рабочих мест.

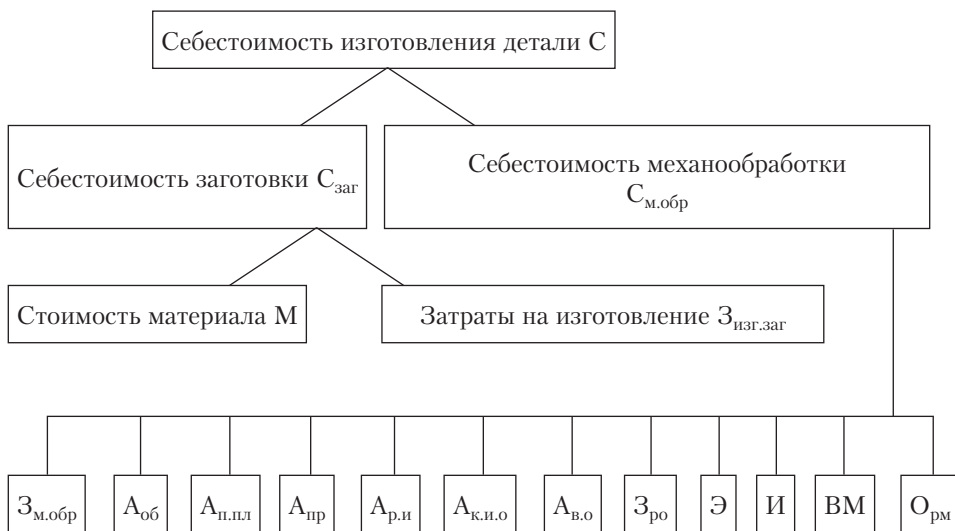


Рис. 2.2. Составляющие себестоимости изготовления детали

При решении задачи выбора заготовки часто ограничиваются двумя диаметрными по смыслу вариантами:

- 1) наиболее дешевая заготовка;
- 2) наименьший расход материала, т.е. заготовка, наиболее приближенная к готовой детали.

Оба эти ответа неверны.

При первом варианте ответа дешевая заготовка значительно отличается по размерам и конфигурации от готовой детали. Такая заготовка требует больших затрат на механическую обработку. В целом себестоимость изготовления детали может оказаться большей, чем при более дорогой заготовке.

При втором варианте заготовка, приближенная по размерам и конфигурации к готовой детали, т.е. имеющая наименьшие припуски, может оказаться весьма дорогой. Представим себе предельный случай: припуски равны нулю, заготовка полностью совпадает с готовой деталью. Механическая обработка становится ненужной. Себестоимости заготовки и готовой детали равны. В принципе, такую заготовку получить можно. Имеются методы сверхточного литья и пластического деформирования. Для изготовления такой заготовки требуется дорогостоящая оснастка в виде пресс-формы или штампа, т.е. оболочки, в которой будет формироваться деталь. Себестоимость заготовки будет большой. Следовательно, высокой будет себестоимость всей детали. Кроме того, большими будут затраты времени на освоение производства такой заготовки.

Ответ на вопрос о выборе заготовки формулируется следующим образом: заготовка должна быть такой, чтобы была обеспечена минимальная себестоимость изготовления всей детали, учитывающая сумму себестоимостей заготовки и последующей механической обработки.

Перспективным методом изготовления деталей является объемная печать на 3D-принтере. Исходной информацией для работы является компьютерная 3D-модель детали. Происходит послойное сканирование модели, а в технологическом комплексе — послойное нанесение материала и его спекание.

В настоящее время успехи в создании пластмассовых образцов изделий несомненны, принтеры объемной печати доступны для приобретения и использования. Машиностроителей интересует изготовление металлических изделий, что создает возможность вообще миновать этап заготовки. С уверенностью можно предположить, что совершенствование технологии объемной печати будет происходить в этом направлении ускоренными темпами.

Имеется информация о создании промышленных установок (рис. 2.3), в которых для спекания используется как лазерный луч, так и струя плазмы (рис. 2.4).

Одновременно идет разработка расходных металлических материалов: порошков, проволоки, пластичной массы, называемой «глиной».

Использование технологии объемной печати изменит отношение к проектированию изделий. Конструкция деталей не будет связана с современными требованиями технологичности, вынужденными учитывать воз-

возможности механической обработки. Ведь отпадет одно из важнейших требований к технологичности конструкции: доступность поверхностей заготовки для режущих инструментов. Изменится отношение к технологичности узлов и объектов, получаемых в настоящее время из отдельных деталей путем сборки. Появятся неразъемные конструкции, созданные без сборки из отдельных элементов, а сами элементы будут казаться немислимыми с точки зрения привычных методов изготовления.



Рис. 2.3. Промышленные 3D-принтеры



Рис. 2.4. 3D-печать металлической детали

Создание деталей без их механической обработки станет революцией в технологии машиностроения.

В настоящее время даже при уменьшенных припусках затраты на механическую обработку значительны. Наиболее существенными составляющими себестоимости являются заработная плата работающих, амортизация оборудования и режущих инструментов. Именно поэтому в настоящее время актуальной является задача повышения производительности труда, что отражается на балансе затрат в сторону уменьшения этих составляющих.

2.2. Производительность труда

2.2.1. Понятие о производительности и трудоемкости

Производительность определяется количеством годной продукции, изготовленной в единицу времени. Размерность производительности — [шт/ч] или [шт/мин].

Понятие, обратное производительности, называется **трудоемкостью** или **трудозатратами**. Размерность трудоемкости — часы или минуты, отнесенные к единице продукции (штукам), [ч/шт] или [мин/шт].

При производительности 30 шт/ч (0,5 шт/мин) трудоемкость составит 1/30 ч/шт (0,0333 ч) или 2 мин/шт. При трудоемкости 1/120 ч/шт (0,0083 ч/шт) или 0,5 мин/шт производительность будет равна 120 шт/ч (2 шт/мин).

Трудоемкость при выполнении отдельной операции оценивают штучно-калькуляционным временем $t_{шт.к}$. Приведем формулу для подсчета трудоемкости операции механической обработки:

$$t_{шт.к} = t_{пз} + t_{шт}$$

из которой становится ясно, что штучно-калькуляционное время равно сумме подготовительно-заключительного времени $t_{пз}$ и штучного времени $t_{шт}$.

Затраты подготовительно-заключительного времени на партию деталей $T_{пз}$ предшествуют каждой операции, в ходе которой выполняют обработку деталей партии. Для получения подготовительно-заключительного времени $t_{пз}$ на одну деталь необходимо $T_{пз}$ разделить на число n деталей в партии, тогда

$$t_{шт.к} = \frac{T_{пз}}{n} + t_{шт}$$

Подготовительно-заключительное время расходуется на подготовку к выполнению операции обработки, т.е. на настройку всех ее компонентов, без осуществления которой выполнить операцию не представляется возможным (рис. 2.5). Оператор должен получить необходимую информацию и ознакомиться с ней, затем согласно указаниям технологической документации настроить станок на обработку.

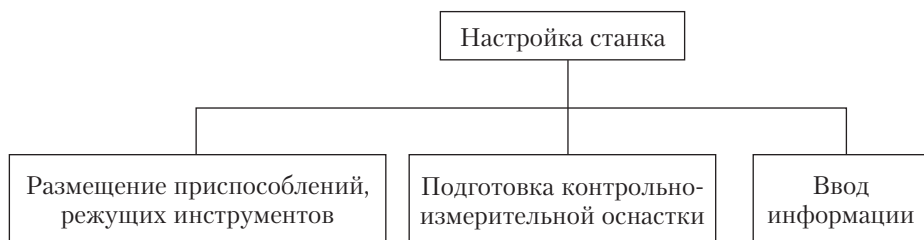


Рис. 2.5. Схема настройки станка

После окончания выполнения операции все, что не потребуется для выполнения следующей операции, должно быть удалено с рабочего места.

Штучное время $t_{шт}$ при механической обработке складывается из четырех показателей:

$$t_{шт} = t_o + t_{всп} + t_{ото} + t_{оен},$$

где t_o — основное время, т.е. время, в ходе которого происходит непосредственное резание; $t_{всп}$ — вспомогательное время; $t_{ото}$ — время организационно-технического обслуживания; $t_{оен}$ — время на отдых и удовлетворение естественных надобностей.

Чем меньше сумма составляющих штучно-калькуляционного времени, тем выше производительность.

Время цикла $t_{ц}$ — это сумма основного и вспомогательного времени.

2.2.2. Пути сокращения подготовительно-заключительного времени

Формула $t_{пз} = \frac{T_{пз}}{n}$ показывает, что сократить подготовительно-заключительное время можно путем уменьшения числителя и увеличения знаменателя.

Рассмотрим оба варианта и ограничения, которые при этом возникают.

Наиболее рациональный путь уменьшения времени на подготовку выполнения операции $T_{пз}$, т.е. *числителя*, состоит в использовании на предприятии групповых технологических процессов.

Сущность этого метода организации производства состоит в том, что вся номенклатура деталей, проходящих обработку на предприятии, разделена на несколько групп.

В каждую отдельную группу включены детали, подобные по конструктивным и технологическим признакам. Например, в отдельные группы можно выделить станины, корпусные детали, валы, фланцы, гильзы, плоскостные детали, зубчатые колеса и т.д. (рис. 2.6).

Группы могут дополнительно подразделяться на 2–3 подгруппы по размерам. При широкой номенклатуре изделий, выпускаемых на одном предприятии, корпусные и плоскостные детали, валы, фланцы и зубчатые колеса могут быть отнесены к различным подгруппам деталей больших, средних и малых размеров. Но все равно число групп на предприятии ограничено и не превышает 10–15.

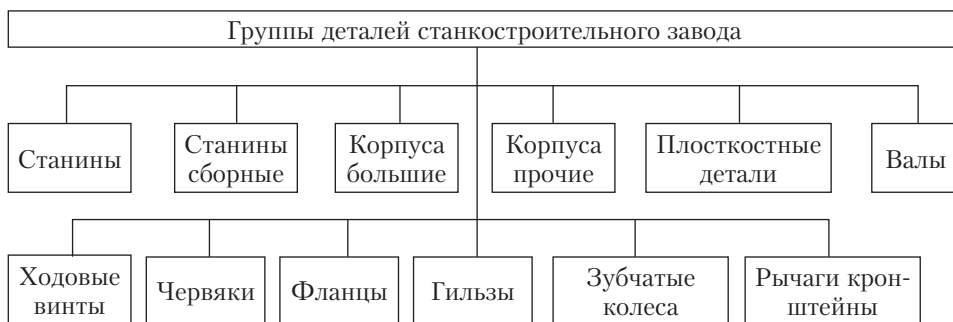


Рис. 2.6. Пример технологических групп деталей

Для каждой группы разрабатывают отдельный групповой технологический процесс, по которому все детали группы обрабатывают по сходной схеме, с использованием единого оборудования и единого набора технологической оснастки (рис. 2.7). Именно в этом подходе заключается эффективность группового метода обработки.

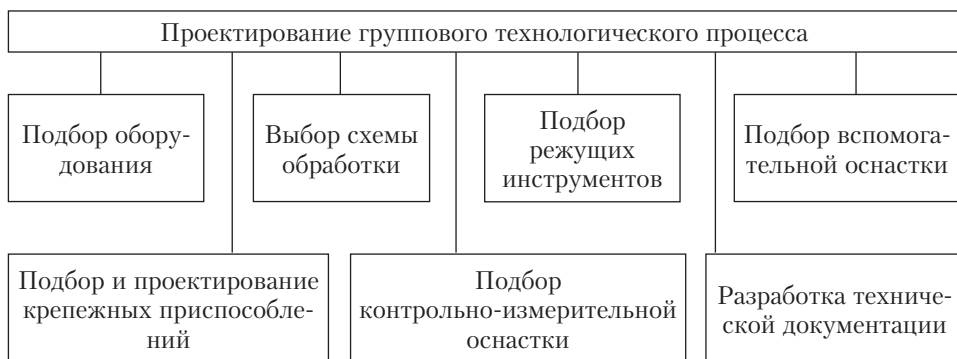


Рис. 2.7. Разработка группового технологического процесса

Время настройки операции на станке при переходе от обработки детали одного наименования к детали другого наименования данной группы значительно сокращается:

- 1) имеется возможность использовать установленное на станке крепежное приспособление, а не заменять его на другое;
- 2) нужно заменить не весь набор, а только отдельные режущие инструменты.

Технологические процессы, проектируемые ЭВМ, строятся именно по групповому принципу.

При использовании групповых методов достигается особенно большой экономический эффект на этапе освоения производства новой продукции. Ведь для каждой новой детали нет необходимости проектировать технологический процесс, достаточно отнести деталь к соответствующей группе, для которой технологический процесс не только ранее разработан, но и внедрен в производство.

Увеличение *знаменателя* в формуле подготовительно-заключительного времени имеет свои ограничения. Вряд ли есть необходимость изготавливать детали в количествах, не востребованных в данный момент производством, или изготавливать в таких количествах, что готовые детали будут длительное время храниться на складе, подвергаясь опасности утери и коррозии.

Весьма существенным аргументом против изготовления избыточных деталей являются экономические соображения, поскольку оно приводит к замораживанию оборотных средств.

Следовательно, в серийном производстве число деталей в партии вряд ли следует увеличивать сверх месячной потребности. С увеличением серийности это количество сокращается, и в массовом производстве вообще равно одной штуке.

Вопросы и задания для самопроверки

1. Назовите показатели оценки технологических процессов.
2. Какой показатель оценки технологических процессов является основным?
3. Каким образом следует выбирать заготовку?
4. Каковы перспективы объемной печати для изготовления деталей?
5. Что входит в понятие производительности?
6. Какова зависимость между производительностью и трудоемкостью?
7. Какие работы выполняют в подготовительно-заключительное время?
8. Назовите пути сокращения подготовительно-заключительного времени.
9. Что ограничивает размер партии запуска деталей в производство?
10. Какими чертами обладают групповые технологические процессы?
11. За счет чего использование групповых технологических процессов влияет на сокращение подготовительно-заключительного времени?

Глава 3

ПУТИ СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЦИКЛА ОБРАБОТКИ

После изучения материала данной главы студент должен:

знать

- состав времени цикла обработки;
- понятие об основном и вспомогательном времени;
- материалы, используемые в современных режущих инструментах;

уметь

- повышать производительность труда за счет сокращения основного времени;
- повышать производительность за счет сокращения вспомогательного времени;
- использовать групповые технологические процессы в своей практической деятельности;

владеть

- навыками выбора материала режущих инструментов;
 - использованием в технологических процессах станков с ЧПУ с целью повышения производительности;
 - достижением оптимальности технологических процессов по показателю экономичности.
-

3.1. Пути сокращения основного времени

К основному времени t_o при механической обработке относится сумма времени непосредственного резания t_p , при котором происходит сьем стружки, и неизбежного времени врезания $t_{вр}$ и перебега $t_{пб}$:

$$t_o = t_p + t_{вр} + t_{пб}.$$

Основное время равняется отношению длины пути L , проходимого режущим инструментом по обрабатываемой поверхности заготовки, к величине минутной подачи $s_{мин}$, которая равна скорости перемещения режущего инструмента по этой поверхности.

Длина пути L равна сумме длины обрабатываемой поверхности $l_{дет}$, величин врезания $l_{вр}$ и перебега $l_{пб}$:

$$L = l_{дет} + l_{вр} + l_{пб}.$$

При i рабочих ходов длина пути увеличивается до произведения Li .

$$t_o = \frac{Li}{s_{мин}},$$

где $s_{\text{мин}}$ — минутная подача, мм/мин.

Минутная подача при точении

$$s_{\text{мин}} = s_0 n.$$

Минутная подача при обработке многолезвийным инструментом

$$s_{\text{мин}} = s_z z n,$$

где s_0 — подача на оборот, мм/об; s_z — подача на одно лезвие, мм/зуб; z — число зубьев многолезвийного инструмента; n — частота вращения заготовки или режущего инструмента, об/мин.

Скорость резания

$$v = \frac{\pi D n}{1000}, \text{ м/мин,}$$

где D — диаметр обработки, мм; откуда частота вращения

$$n = \frac{1000v}{\pi D}, \text{ об/мин.}$$

Основное время при точении

$$t_o = \frac{Li}{s_0 \frac{1000v}{\pi D}} = \frac{\pi D Li}{1000 v s_0}, \text{ мин.}$$

Основное время при работе многолезвийным инструментом

$$t_o = \frac{\pi D Li}{1000 v s_z z}, \text{ мин.}$$

Сократить основное время можно за счет уменьшения числителя и увеличения знаменателя. Рассмотрим влияние на основное время глубины, подачи и скорости резания, т.е. тех параметров, которые относятся к режимам резания. Расчет и выбор режимов резания осуществляется в последовательности: глубина, подача, скорость резания. Правильно назначенные режимы в максимальной степени определяют достижение высокой производительности за счет сокращения основного времени.

За счет увеличения глубины можно сократить число рабочих ходов (i в числителе). Возможности увеличения скорости резания и подачи (s и v в знаменателе) связаны с режущими способностями материалов режущих инструментов.

Виды материалов, используемые в настоящее время в режущих инструментах для лезвийной обработки, перечислены на рис. 3.1.

Быстрорежущую сталь (БС) нужно признать весьма технологичным материалом для изготовления режущих инструментов. Этот материал может до закалки подвергаться резанию лезвийными инструментами (фре-

зерованию, точению, сверлению и т.д.), а после закалки — шлифованию. Это дает возможность изготавливать из быстрорежущих сталей сложные режущие инструменты: метчики, зубообрабатывающие долбяки и червячные фрезы, профильные резцы и др.



Рис. 3.1. **Материалы лезвийных инструментов**

Качественные заготовки из быстрорежущей стали получают методом порошковой металлургии. Порошковая быстрорежущая сталь обладает высоким качеством структуры материала, что благотворно сказывается на режущих свойствах инструментов. После нанесения на поверхность режущих кромок тонких пленок (1–5 мкм) сверхтвердых покрытий, например TiAlN, быстрорежущие инструменты могут работать со скоростями до 125 м/мин, что близко к скоростям работы твердых сплавов.

Общая тенденция в использовании режущих инструментов состоит в стремлении заменить быстрорежущие стали твердыми сплавами, содержащими меньше вольфрама и работающими на более высоких скоростях.

Твердые сплавы (ТС) являются в настоящее время самым распространенным материалом для лезвийных режущих инструментов. Около 90% всей механической обработки в мире выполняется твердыми сплавами.

Изготавливают твердые сплавы методом порошковой металлургии из смесей зерен карбидов, нитридов, карбонитридов тугоплавких металлов в связующем материале, в качестве которого используется кобальт.

Заготовки твердосплавных инструментов имеют после спекания очень высокую твердость (до HRA 90) и в дальнейшем могут обрабатываться только шлифованием алмазными кругами.

В состав порошков входят кобальт, карбиды и нитриды титана, вольфрама, тантала. Процентное содержание кобальта может колебаться в пределах 2–15%. Чем больше в составе твердого сплава кобальта, тем выше его прочность, но ниже износостойкость.

Скорость резания при работе твердыми сплавами превышает 100 м/мин. Инструменты из твердых сплавов в последние годы прошли путь существенного совершенствования.

Появились многогранные быстросменные неперетачиваемые пластины, использование которых дает ряд технико-экономических выгод. После спекания многогранная пластина либо вообще не подвергается механической обработке, либо обработка ее минимальна. После затупления одной из режущих кромок производят поворот пластины, и в работу вступает другая кромка. Изготавливают пластины с двумя — пятью режущими кромками, кроме того, иногда пластину можно перевернуть и работать гранями другой стороны. Изношенные пластины перемалывают в порошки, не допуская потерь дефицитных материалов, что неизбежно при затачивании.

На пластины в большинстве случаев наносят сверхтвердые покрытия. Эти покрытия имеют толщину в несколько микрометров, наносят одно-, двух- и трехслойные покрытия. Пластины с покрытиями имеют высокую стойкость, что позволяет работать с более высокими скоростями резания (до 250 м/мин по черным металлам) и добиваться более высокой производительности обработки.

Кроме отечественных твердых сплавов по ГОСТ 3882—74, регламентирующему вольфрамовые сплавы ВК, титановольфрамовые ТК, титанотанталовольфрамовые ТТ, в стране используют много твердосплавных пластин зарубежных производителей, ведущее место среди которых занимают фирмы *Sandvik Coromant, Iscar, Kennametal, Hertel, Walter, Seco, Mitsubishi*. Число марок превышает несколько сотен. Как разобраться в этом многообразии и грамотно использовать инструмент для оптимальной обработки конкретных материалов, чтобы получить наибольший эффект? Ведь одни сплавы обладают высокой прочностью, но недостаточной износостойкостью, иные, наоборот, при уменьшенной прочности обладают высокой износостойкостью. Область применения одних — чистовая обработка, других — черновая.

Стандарт ISO предусматривает деление всех твердых сплавов на шесть групп применения и несколько подгрупп — от 05 до 40 (табл. 3.1).

В ячейки таблицы вносят марки твердых сплавов. Деление на группы и подгруппы применения позволяет ориентироваться в эффективном использовании пластин, не допуская ошибок. Для удобства использования твердосплавные пластины маркируют не маркой материала, а буквой группы и номером подгруппы применения, а упаковка имеет определенную окраску.

Отечественные твердые сплавы ранее делились на три группы применения — *P, M* и *K* (см. табл. 3.1).

Сплавы группы применения *P* (буква латинская) предназначены для обработки материалов, дающих сливную стружку. К таким материалам относится большинство низко- и среднелегированных сталей, стальное литье, ковкий чугун. Маркируются полосой синего цвета.

Сплавы группы применения *M* предназначены для обработки труднообрабатываемых материалов (высокопрочных и нержавеющей аустенитных сталей, высоколегированных, высокомарганцовистых, никелевых, молибденовых, вольфрамовых и ниобиевых сплавов). Маркируются полосой желтого цвета.

Сплавы группы применения *K* предназначены для обработки материалов, дающих стружку надлома (серый и отбеленный чугун, пластмассы, стеклопластики, бетон, древесина). Маркируются полосой красного цвета.

Увеличение содержания кобальта переводит сплав в подгруппу с увеличенным номером. Некоторые сплавы успешно работают в двух смежных подгруппах, а сплавы со сверхтвердыми покрытиями даже в разных группах применения. Это неудивительно, ведь у них вязкая, прочная сердцевина и износостойкая режущая кромка.

В последнее время образованы дополнительно три группы применения: *N, S* и *H*.

Группы и подгруппы применения твердых сплавов

Подгруппы	Изменение свойств			
	<i>P</i>	<i>M</i>	<i>K</i>	
05	T30K4	BK6-OM	BK3, BK6-OM	Износостойкость ↑
10	T15K6	TT8K6	BK6, BK4	
20	T15K6	TTK8Б	BK8	
30	T5K10 TT10K8Б	TT7K12 BK8	BK8	
40	T5K12, TT7K12	TT7K12	BK10, BK15	

Прочность ↓

Сплавы группы применения *N* выделены в последние годы из группы применения *K*, предназначены для обработки алюминиевых сплавов, меди и ее сплавов. Маркируются полосой зеленого цвета.

Сплавы группы применения *S* выделены из группы применения *M*, предназначены для обработки жаропрочных сталей и титановых сплавов. Маркируются полосой розового цвета.

Сплавы группы применения *H* предназначены для обработки материалов высокой твердости. Маркируются полосой серого цвета.

Пластины импортного производства маркированы дополнительно к марке сплава подгруппой применения.

Подгруппы применения 05, 10, 20, 30, 40 перечислены в порядке повышения прочности сплава. Одновременно с повышением прочности снижается износостойкость. Например, сплав T5K10 (*P30*), который содержит 10% кобальта, обладает большей прочностью в сравнении со сплавом T15K6 (*P15 – P25*), и еще большей прочностью, чем сплав T30K4 (*P05*). Но последний из перечисленных сплавов является наиболее износостойким.

Сплав BK3-М (*K10*) обладает высокой износостойкостью, а сплав BK8 с меньшей износостойкостью, но с более высокой прочностью работает в нескольких подгруппах применения (*K20 – K30*).

Безвольфрамовые твердые сплавы (керметы) пригодны для чистой обработки, при которой они показывают по износостойкости и качеству обработки зачастую лучшие результаты, чем вольфрамосодержащие сплавы.

К **сверхтвердым материалам (СТМ)** относят алмазы, композиты и режущую керамику.

1. **Алмазы** подразделяются на естественные и искусственные. Этот материал является наиболее твердым из всех существующих в природе. Однако он совершенно непригоден для обработки на высоких скоростях черных металлов (стали и чугуна) в связи со сродством элемента (углерода), из которого он состоит, и который одновременно входит в состав обрабатываемого материала. Из крупных (свыше 1 карата) зерен алма-

зов изготавливают резцы для обработки цветных металлов и их сплавов, инструменты для правки абразивных кругов.

В качестве абразивного материала мелкие алмазные зерна и порошки служат для шлифования и притирки твердых сплавов. Алмазы широко используют в инструментах, которыми правят шлифовальные круги. Стойкость шлифовальных кругов сравнительно невелика. Это обусловлено двумя причинами:

1) зерна тупятся;

2) круги засаливаются. Последний термин означает насыщение связки круга срезанными продуктами шлифования.

При правке алмазный правящий инструмент выкрашивает затупившиеся зерна и срезает засаленную связку. Более подробно это будет рассмотрено в разделе шлифования.

2. **Композиты** по своим свойствам и способам изготовления подобны искусственным алмазам. И те и другие изготавливают из исходного сырья при высокой температуре и высоком давлении. Для алмазов сырьем служат порошки углерода, для композитов — нитрид бора. Марки широко используемых композитов: 01, 05, 10.

Композит 01 — кубический нитрид бора, имеет название *эльбор* (ленинградский бор). Этот материал прекрасно работает по чугуну и закаленной стали, но плохо — по стали незакаленной. При спекании образуются монокристаллы, имеющие малые размеры (диаметр 4 мм и длина 6 мм).

Кристаллы композита 05 хорошо работают по чугуну и по стали невысокой твердости. Из них изготавливают круглые пластинки диаметром 6 мм, которые используют в конструкции двух- и трехрядных торцовых фрез, работающих с достаточно большой глубиной резания.

Композит 10 (гексанит) имеет очень высокую прочность. К примеру, резцами из композита 10 можно растачивать закаленные кулачки токарных патронов. При резании композитами закаленных стали и чугуна оптимальной скоростью резания является 100 м/мин, при резании не закаленного чугуна можно поднимать скорость до 400—800 м/мин.

Абразивными кругами из эльбора на керамической связке шлифуют и затачивают инструменты из быстрорежущей стали.

3. **Режущую керамику** получают путем спекания диоксида алюминия Al_2O_3 . Используют белую, серую и черную керамику. В состав серой и черной керамики входит карбид титана TiC . Белая и серая керамика прекрасно работают по незакаленной стали со скоростью до 250 м/мин, черная — по чугуну и по закаленной стали со скоростью 100 м/мин. Из керамики изготавливают многогранные пластины различной формы.

Имеется керамика на основе оксида кремния.

Используют также керамику в виде сверхтвердых покрытий твердосплавных пластин.

Сверхтвердые материалы, работающие на высоких скоростях резания, востребованы на станках с ЧПУ. Во-первых, закрытая ограждениями зона резания создает безопасные условия работы оператора. Во-вторых, высокая частота вращения определяет высокую минутную подачу перемещения режущих инструментов относительно заготовок. На ручных станках

рабочий не успевал среагировать, когда требовалось прекратить движение подачи, а для станков с ЧПУ такой проблемы не существует.

Появилась возможность заменить традиционное шлифование закаленных поверхностей лезвийной обработкой. Выбор материала режущей части инструмента для «твердого точения», «твердого фрезерования» (такие термины приняты в технической литературе) осуществляют в соответствии с рис. 3.2.

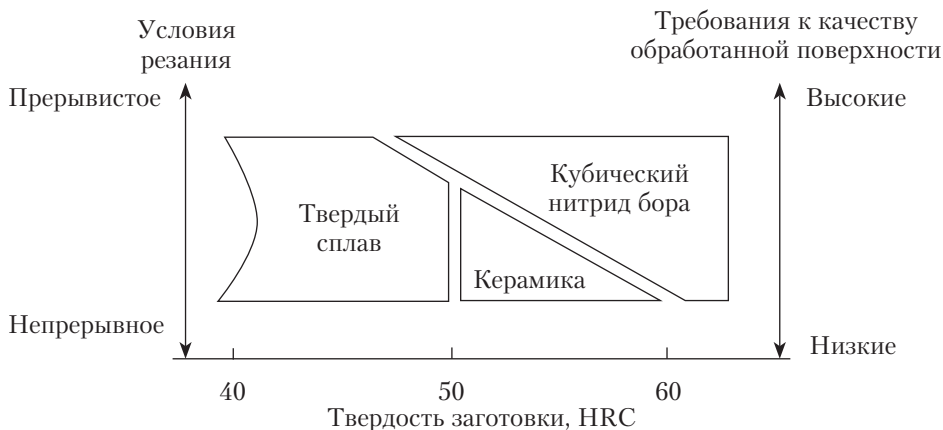


Рис. 3.2. Выбор материала инструмента для лезвийной обработки закаленных поверхностей

Металлорежущие станки по силовым и скоростным характеристикам обязаны не ограничивать возможности режущих инструментов. В последние десятилетия мощность главных приводов возросла примерно в пять раз, а верхний предел частоты вращения шпинделя — более чем в два раза.

3.2. Пути сокращения вспомогательного времени

Часть времени обработки затрачивается на неизбежные вспомогательные операции (рис. 3.3). Эту часть цикла обработки называют *вспомогательным временем*.



Рис. 3.3. Состав вспомогательного времени

Сумма основного и вспомогательного времени составляет время цикла $t_{ц}$ (см. п. 2.3.1).

На большинстве станков с ручным управлением, за исключением зубо- и резьбообрабатывающих, вспомогательное время превышает основное. На тяжелых расточных станках с ручным управлением в условиях единичного производства доля основного времени в цикле не превышает 10–15%.

На станках с ЧПУ вспомогательное время претерпевает значительное сокращение, и доля основного времени достигает 85–90%.

Время установки-снятия, именно так для краткости называется эта составляющая вспомогательного времени, можно сократить двумя путями (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Пути сокращения вспомогательного времени

1. Можно использовать быстродействующие приспособления. Чаще всего такие приспособления обладают механизированными приводами зажимных устройств: гидравлическими, пневматическими, электромеханическими, магнитными и электромагнитными, вакуумными.

2. Еще более действенным способом сокращения вспомогательного времени является совмещение времени установки-снятия со временем обработки. На обрабатывающих центрах этот способ реализуют путем использования столов-спутников. Когда на одном столе-спутнике ведется обработка, на другом столе-спутнике оператор выполняет установку-снятие заготовки. Рассматриваемая доля вспомогательного времени сокращается практически до времени смены столов-спутников.

Время холостых перемещений рабочих органов необходимо для подвода режущих инструментов к обрабатываемым поверхностям и для отвода инструментов в позицию смены. Сокращать это время можно двумя путями:

- рационализацией схем движения инструментов;
- ускорением самих холостых ходов.

И то и другое наилучшим образом решается на станках с ЧПУ (рис. 3.5).

Для рационализации схем движения следует использовать компьютерные программы для разработки управляющих программ (УП), выполнять редактирование в процессе наладки.

Скорость перемещения рабочих органов современных станков с ЧПУ равна 15–25 м/мин, а у отдельных станков с ЧПУ доведена до 60 м/мин. Кроме того, в таких станках улучшены динамические характеристики приводов подач: разгон до максимальной скорости и торможение происходят за доли секунды.

Смена инструментов в станках с ЧПУ производится в течение нескольких секунд. В обрабатывающих центрах инструменты размещены в магазинах, которые удалены от шпинделя на достаточно большое расстояние. В этом случае станки снабжены промежуточными автооператорами, которые заблаговременно доставляют режущие инструменты в позиции смены.

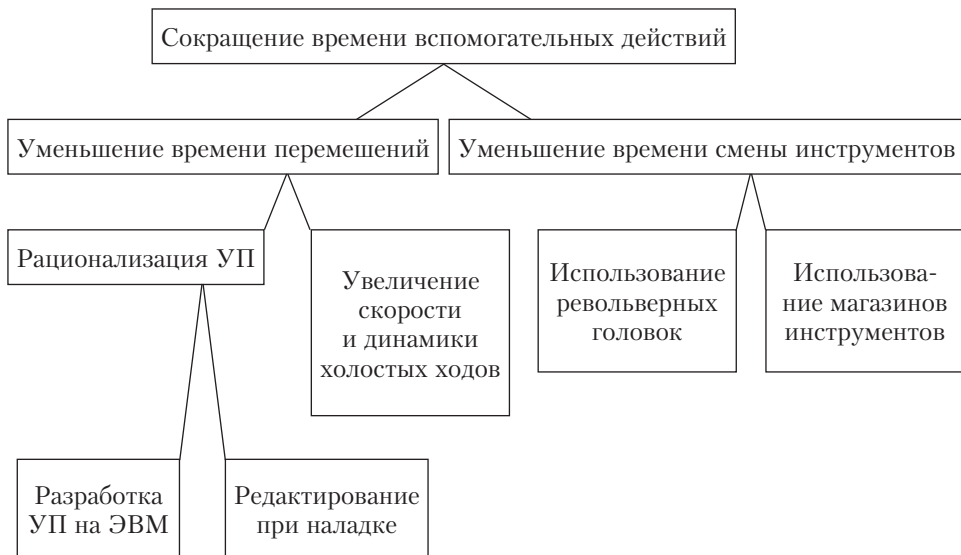


Рис. 3.5. Пути сокращения вспомогательных действий

Некоторые изготовители станков с ЧПУ характеризуют время смены инструментов добавлением ко времени непосредственной смены времени подвода инструментов к обрабатываемым поверхностям и отвода от этих поверхностей. Называют это временем «от реза до реза». У лучших станков время «от реза до реза» не превышает шести секунд, а доля основного времени во времени цикла доходит до 95%.

Время контроля включают в штучное время в том случае, если оператор в ходе проведения обработки приостанавливает ее для выполнения контроля. При обработке на станках с ЧПУ стремятся избежать потери времени и проверку предыдущей детали партии совмещают с обработкой последующей.

Такой подход возможен в связи с тем, что изменение размеров, связанных с износом инструментов и температурными деформациями, происходит не внезапно, а постепенно от детали к детали. Отслеживая динамику изменения размеров, оператор может своевременно вносить коррекцию в положение режущих кромок.

На рис. 3.6 показано постепенное увеличение размеров, с приближением их к верхней границе поля допуска. После коррекции размер снова приближается к нижней границе поля допуска.

Контроль, вынесенный в отдельную операцию технологического процесса, выполняется контролером по завершении обработки всей партии деталей.

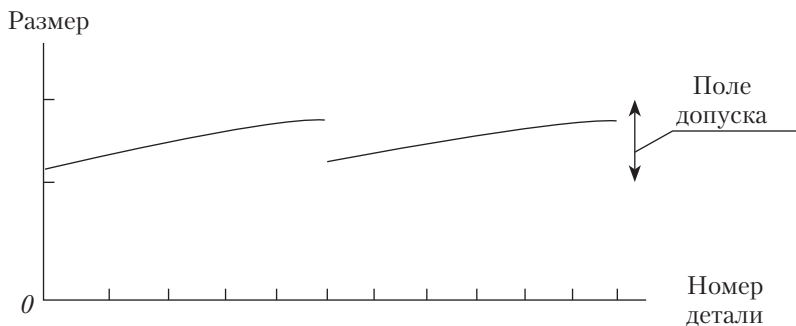


Рис. 3.6. График изменения размеров

Вопросы и задания для самопроверки

1. Какие трудозатраты относятся к основному времени?
2. Назовите параметры режимов резания.
3. В какой последовательности выполняют выбор и расчет режимов резания?
4. Перечислите основные материалы режущих инструментов.
5. Какие инструменты изготавливают из быстрорежущих сталей?
6. Назовите пути совершенствования твердосплавных инструментов.
7. Для чего используют деление твердых сплавов на группы и подгруппы применения?
8. Какие материалы режущих инструментов относятся к сверхтвердым?
9. Перечислите возможности сверхтвердых материалов.
10. Какие виды трудозатрат относятся к вспомогательному времени?
11. Назовите пути сокращения вспомогательного времени.
12. Какова роль станков с ЧПУ в решении задачи повышения производительности?

Глава 4

ГИБКОСТЬ, НАДЕЖНОСТЬ, РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ, ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА

После изучения материала данной главы студент должен:

знать

- показатели гибкости и надежности технологического процесса;
- пути обеспечения гибкости и надежности технологических процессов;
- роль ресурсосбережения в показателях эффективности технологических процессов;

уметь

- повышать надежность технологических процессов;
- повышать гибкость технологических процессов;
- обеспечивать нормативы охраны труда при проектировании технологических процессов;

владеть

- умением обеспечивать требуемые показатели гибкости и надежности;
 - умением использовать в проектируемых технологических процессах показателя ресурсосбережения.
-

4.1. Гибкость технологических процессов

Гибкостью ТП называется их свойство быть подвергнутыми в короткие сроки и без больших материальных затрат переналадке на выпуск новой продукции. Другое название гибкости — **мобильность**.

Гибкость стала одним из важнейших показателей ТП в последнее время в связи с ускорением материального производства. В течение нескольких лет происходит удвоение числа изделий, производимых в мире. В век индустриализации вступают все новые страны. Возникает производство новых товаров или товаров с улучшенными техническими характеристиками и качеством.

Развитие человечества за 60 тыс. лет можно образно представить в виде сверхмарафонского забега на 60 км. Половину дистанции человек бежит во тьме, на середине дистанции берет в руки факел, за 2 км до финиша пересаживается в колесницу. К моменту финиша небо бороздят самолеты и космические корабли, на земле автомобили, компьютеры, Интернет, сотовая

связь, Большой адронный коллайдер и многие другие достижения человечества самых последних лет.

Негибкое производство не может справиться с такими требованиями времени. Представьте, что для перехода на выпуск новых видов изделий будет необходимо полностью обновить не устаревшие еще морально и физически станочный парк и технологическую оснастку, переучить производственный персонал. Экономические потери будут чрезвычайно большими. Но ведь такой была действительность еще несколько десятилетий назад.

Ответ на вопрос, как обеспечить гибкость технологического процесса, может быть единственным. Должны быть гибкими все элементы ТП, в первую очередь, основные: оборудование, оснастка, производственный персонал.

Гибкими являются универсальные станки, а наиболее гибкими среди универсальных — станки с ЧПУ. Технологические возможности этих станков чрезвычайно широки. Не обладающие гибкостью специальные виды станков и оснастки на рис. 4.1 перечеркнуты.

Именно отсутствие гибкости привело к резкому сокращению использования высокопроизводительных специальных станков в современном отечественном и зарубежном машиностроении.

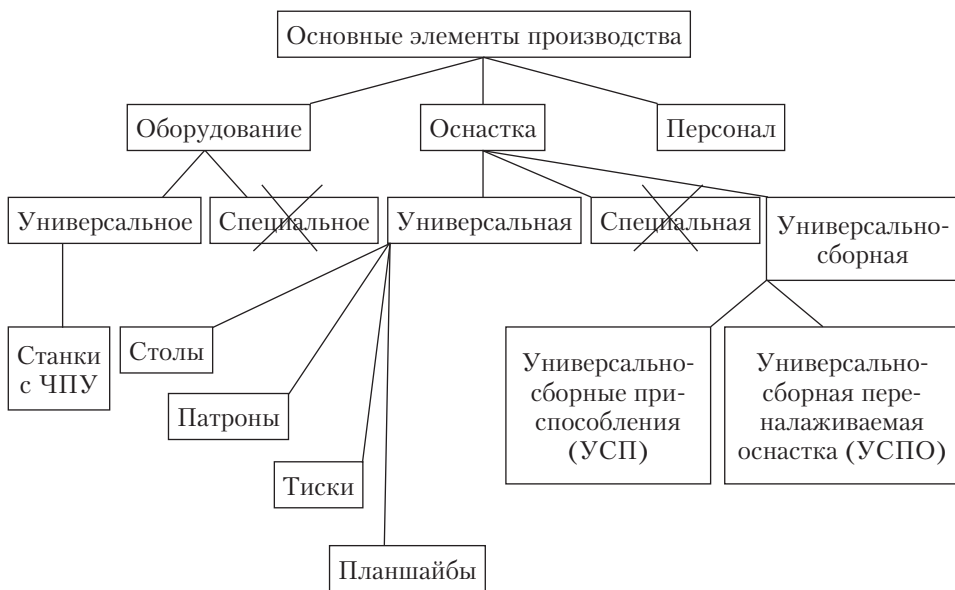


Рис. 4.1. Обеспечение гибкости производства

Вот пример крайне широких возможностей, которые могут быть реализованы. Посмотрите на токарный обрабатывающий центр (ОЦ) (рис. 4.2, а), который с успехом может обрабатывать не только тела вращения, но и корпусные детали, закрепленные на планшайбе шпинделя станка. А теперь посмотрите на ОЦ по типу горизонтально-расточного станка (рис. 4.2, б), у которого стол может вращаться в токарном режиме.

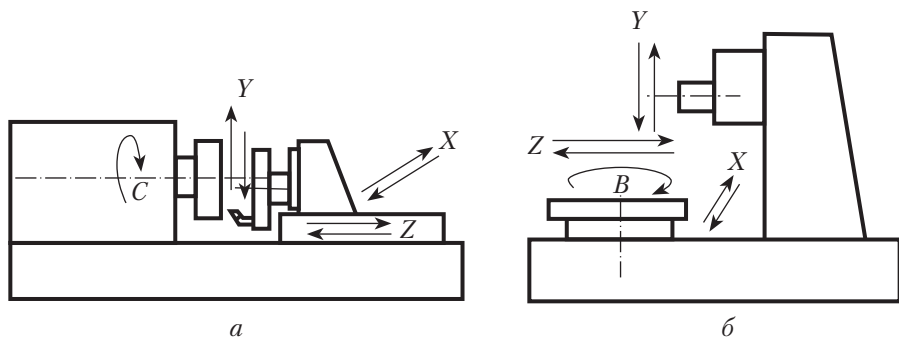


Рис. 4.2. Токарный патронный (а) и горизонтально-расточной (б) станки с ЧПУ

Оказывается, что, несмотря на внешние различия, у обоих станков совершенно одинаковые технологические возможности. Оба они могут выполнять полную обработку как тел вращения, так и корпусных деталей.

На рис. 4.3, а и б токарный станок повернут на 90° против часовой стрелки, т.е. стал токарным станком вертикального исполнения. Теперь он и по компоновке, и по своим технологическим возможностям подобен горизонтально-расточному станку, изображенному на рис. 4.2, б. Такие станки имеют два шпинделя: один для установки заготовки и второй для режущих инструментов. Инструментальный шпиндель может работать в двух режимах:

- стационарном, когда в нем крепят резцы;
- вращающемся, когда в него устанавливают сверла, фрезы, расточные резцы, зенкеры, развертки и др.

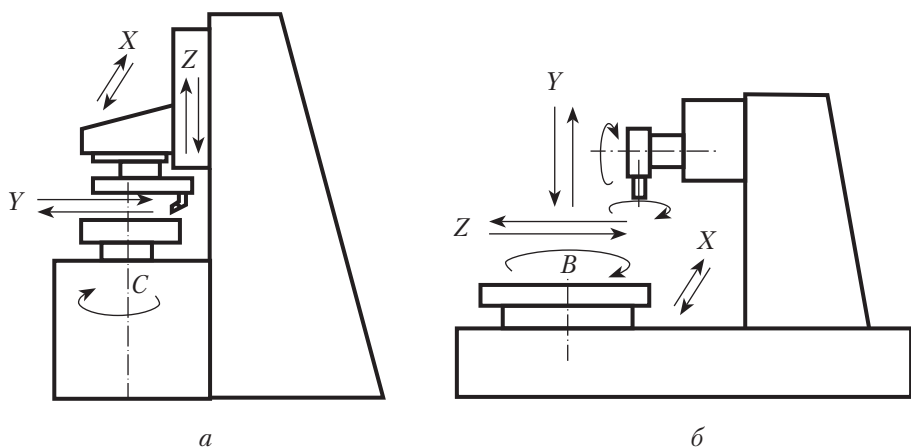


Рис. 4.3. Токарный вертикальный (а) и горизонтально-расточной (б) станки с ЧПУ

В инструментальный шпиндель с горизонтальной осью (рис. 4.3, б) может быть установлена поворотная головка, изменяющая направление

оси на 90° или любой другой угол. Такая головка позволяет обрабатывать заготовки с пяти сторон, оставляя необработанной только сторону, которая использована для установки.

Переналадка станков с ЧПУ занимает сравнительно малое время. К подготовке управляющих программ привлекается ЭВМ. Компьютерное 3D-моделирование позволяет полностью автоматизировать этот этап технологической подготовки производства.

Специальные станки, выполняющие определенную работу, гибкостью не обладают. Такое оборудование ранее использовалось в крупносерийном и массовом производстве в составе автоматических линий, но в настоящее время и там внедряются станки с ЧПУ. Сыграло роль требование гибкости, так как это производство также вынуждено изменять номенклатуру выпускаемой продукции через малые промежутки времени.

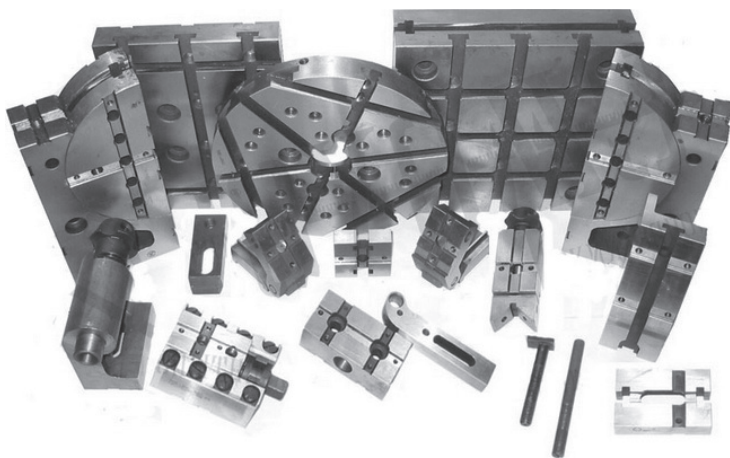


Рис. 4.4. Элементы УСП

Наиболее гибкая технологическая оснастка — универсальная. К универсальной оснастке относятся тиски, патроны, планшайбы, поворотные столы и др. На следующей ступени по гибкости среди крепежных станочных приспособлений стоит оснастка переналаживаемая и универсально-сборная.

Универсально-сборные приспособления разработаны отечественными инженерами В. С. Кузнецовым и В. А. Пономаревым. Практика многолетнего применения показала большую эффективность этого вида оснастки.

Сущность системы универсально-сборных приспособлений заключается в том, что из отдельных нормализованных элементов (рис. 4.4) можно собрать необходимое для работы крепежное приспособление. После выполнения нужной операции его разбирают на составные элементы, и в новой компоновке эти элементы могут быть использованы для сборки приспособления, отличного от предыдущего.

Другой разновидностью универсально-сборной оснастки является универсально-сборная переналаживаемая оснастка (рис. 4.5), в которой система «шпоночный паз — шпонка» заменена сеткой центрирующих отверстий. Эти приспособления обладают более высокой точностью и жесткостью.

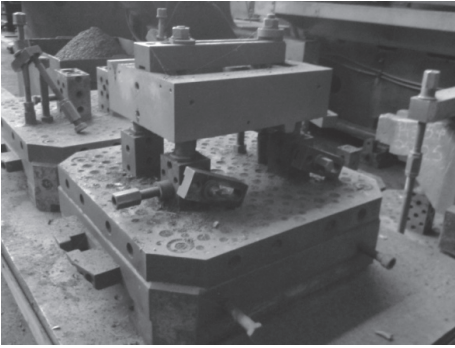


Рис. 4.5. Универсально-сборные приспособления УСПО-16

Среди контрольно-измерительной оснастки наиболее гибкими являются приборы, оснащенные микропроцессорами. Наиболее широкими возможностями обладают контрольно-измерительные машины (рис. 4.6). Для отсчета размеров с чрезвычайно высокой точностью используют лазерные датчики.

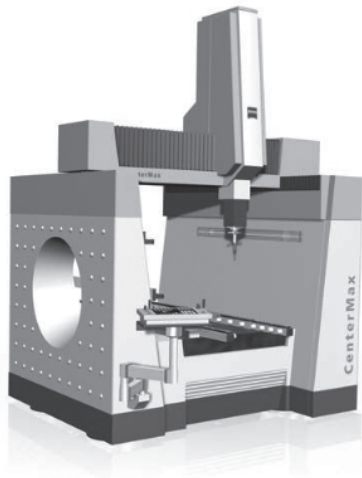


Рис. 4.6. Контрольно-измерительная машина

Широкие возможности станков с ЧПУ позволили обрабатывать самые разнообразные поверхности универсальными режущими инструментами.

Заслуживает внимания проблема гибкости персонала. *Гибкий специалист* — это тот, который способен многократно переучиваться и использует приобретенные знания в своей практической деятельности. Не обладающий качеством гибкости человек пытается решать новые задачи, исходя только из ранее приобретенного опыта. Гибкий специалист не будет переносить без критического осмысливания ранее приобретенный опыт на новые условия. Для решения новых задач чаще всего нужны принципиально новые подходы.

4.2. Надежность технологических процессов

Надежность изделия или системы — это качественный показатель, определяемый вероятностью того, что объект будет работоспособным в данный период времени. **Технологический процесс** — это система, составными частями которой являются *операции*, а элементами операции — оператор, заготовка, оборудование, технологическая оснастка, информация, энергия, вспомогательные материалы и др. Показателем надежности обладают операции и все ее составные элементы.

Использование на стадии проектирования технологических процессов их оценки по показателю надежности позволит найти подходы, исключающие затраты на восстановление работоспособности как в первоначальный период освоения новых ТП, так и в период дальнейшей эксплуатации системы.

В соответствие с принятой терминологией надежность всего объекта или его частей определяется как свойство, которое в зависимости от назначения и условий эксплуатации может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость (рис. 4.7).



Рис. 4.7. Показатели оценки надежности

Различие между понятиями безотказности и долговечности заключается в том, что о безотказности судят по сохранению работоспособности в течение ограниченного времени, а о долговечности — в течение длительного времени с возможными перерывами на ремонт.

Безотказность часто рассматривается как основной показатель надежности. Коэффициент безотказности $P_n \leq 1$ определяется вероятностью того, что за период времени t при регламентированных режимах работы и условиях эксплуатации отказ объекта не произойдет. Иначе говоря, работа будет безотказной, если время от начала работы объекта до первого отказа будет бóльшим, чем заданное время t .

В случае простейшего потока отказов вероятность безотказной работы P_n определяется экспоненциальной зависимостью

$$P_n = e^{-\lambda t},$$

где λ — интенсивность отказов объекта (вероятность отказов в единицу времени); t — время, для которого определяется вероятность безотказной работы.

Показатель λ определяется как интенсивность отказов в единицу времени. Формула справедлива для объекта, прошедшего приработку, но еще

не испытывающего износа. Время t устанавливают при испытании нового объекта. К примеру, изготовленный станок с ЧПУ проходит проверку на безотказность работой по тестовой программе в течение 48 ч.

На рис. 4.8 показана интенсивность отказов в период эксплуатации.

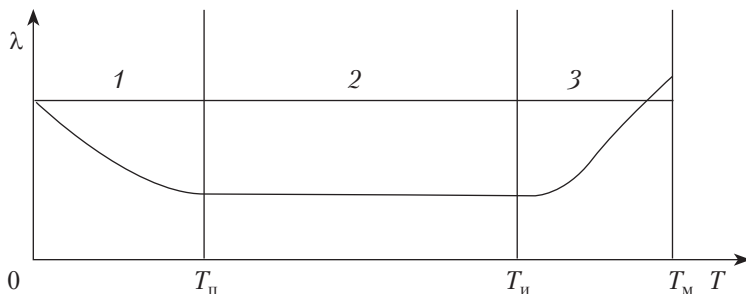


Рис. 4.8. Распределение интенсивности отказов в процессе эксплуатации:

1 — приработка; 2 — нормальная эксплуатация; 3 — период износа

В первый момент при $T = 0$ в системе оказывается некоторое число дефектных элементов, что определяет сравнительно высокую интенсивность отказов. В первоначальный период от нуля до T_p интенсивность отказов падает. Этот период называется приработкой. Затем наступает период нормальной эксплуатации от T_p до $T_{и}$, в течение которого число отказов является постоянным. Через определенное время в результате износа число отказов начинает возрастать. В какой-то момент T_m эксплуатацию объекта необходимо прекратить во избежание возникновения аварийной ситуации. Необходимы либо ремонт, либо замена объекта целиком.

Показателем долговечности объекта служит коэффициент $P_d \leq 1$, который равен коэффициенту технического использования¹, взятому за весь срок эксплуатации объекта:

$$P_d = \frac{T_p}{T_p + \Sigma \tau_{п}}$$

где T_p — время работы объекта за весь период эксплуатации; $\Sigma \tau_{п}$ — суммарное время простоев объекта из-за отказов за весь период эксплуатации.

Если, например, у металлорежущего станка $P_d = 0,94$, то это означает, что за весь период эксплуатации, равный сроку службы, станок 6% времени находится в ремонте, а остальное время работает. Для металлорежущих станков принят срок службы, равный 10 годам. За этот период станкам проводят техническое обслуживание и два текущих ремонта. Через 10 лет необходим капитальный ремонт, в ходе которого полностью восстанавливают все исходные показатели точности и работоспособности.

Ремонтопригодность оценивают сроком восстановления работоспособного состояния после аварии и затратами времени на проведение восстановительного ремонта.

¹ По ГОСТ 27.002—89 «Надежность в технике».

Сохраняемость определяется календарным сроком сохранения объектом своих качеств и затратами на осуществление этого показателя.

Если система состоит из нескольких элементов, то ее безотказность зависит от безотказности отдельных элементов. Возможны два различных случая связи элементов между собой по аналогии с электрической цепью:

- последовательная (рис. 4.9, а);
- параллельная (рис. 4.9, б).

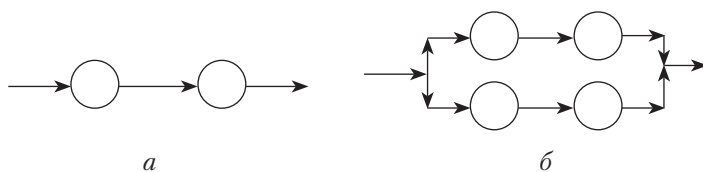


Рис. 4.9. Виды связи элементов

При последовательном соединении отказ хотя бы одного элемента выводит из строя всю систему (рис. 4.10, а). При параллельном соединении (рис. 4.10, б) выход из строя элемента сохраняет работоспособность системы, она станет неработоспособной только при отказе элементов в каждом из параллельных участков цепи.

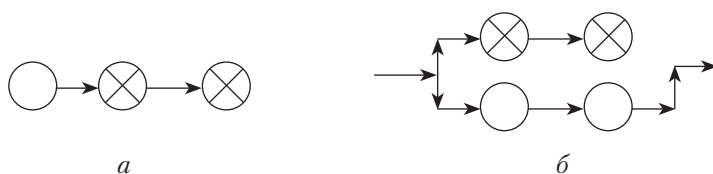


Рис. 4.10. Выход из строя системы при связи элементов

При последовательной связи безотказность системы $P_{\text{посл}}$ равна произведению безотказности ее отдельных элементов P_1, P_2, \dots, P_i :

$$P_{\text{посл}} = P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_i$$

Следовательно, если безотказность каждого из элементов системы равна 0,95, то безотказность всей системы из двух элементов будет равна 0,9025, а из трех элементов — 0,857. Общая надежность системы с последовательной связью всегда ниже надежности самого худшего элемента.

Безотказность системы из двух параллельно соединенных элементов $P_{2\text{парл}}$ выражается следующей формулой:

$$P_{2\text{парл}} = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2,$$

где P_1 и P_2 — безотказность каждого из элементов.

При параллельном соединении двух элементов с безотказностью 0,95 безотказность системы равна 0,9975, т.е. выше безотказности каждого отдельного элемента, а в общем случае выше безотказности самого лучшего элемента. Становится понятной сущность резервирования — метода введе-

ния в систему дополнительных избыточных элементов сверх минимально необходимых для выполнения требуемых функций.

Рассмотренные теоретические сведения позволяют обусловить направления работы по повышению надежности технологических процессов (рис. 4.11).

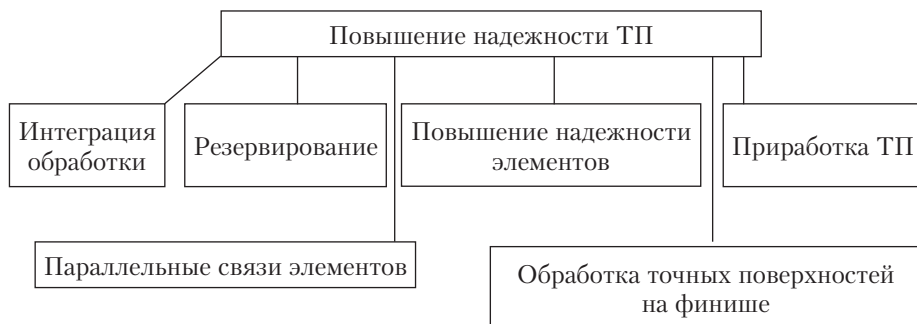


Рис. 4.11. Пути повышения надежности технологических процессов

1. Более надежным будет тот технологический процесс, в котором будет использовано меньшее число элементов. Это достигается при уменьшении числа операций, т.е. при интеграции обработки. Автоматически уменьшается число рабочих мест, операторов, станков, крепежных приспособлений, транспортировок и других элементов ТП.

2. Использование резервирования в ТП реализуется путем создания возможности выполнять одну и ту же работу на разных рабочих местах. Наилучшие условия для реализации этого подхода создает использование станков с ЧПУ. Универсальность этих станков и их широкие возможности позволяют выполнять на них самые разнообразные работы. Даже если на производственном участке размещены станки с ЧПУ разных моделей, это не препятствует переброске работы с одного станка на другой в случае остановки первого в связи с технической неисправностью.

Резервировать нужно и станочные приспособления. Это не отжившее себя дублирование, когда в инструментальной кладовой в обязательном порядке хранились специальные приспособления-дублиеры, потребность в которых возникала при выходе из строя любого из работающих приспособлений.

Современный подход заключается в использовании универсальных, универсально-сборных и групповых переналаживаемых приспособлений, которые можно при необходимости в короткие сроки собрать и начать эксплуатировать взамен вышедших из строя.

Резервирование операторов обеспечивается тем, что в технологических процессах одного производственного подразделения отсутствуют уникальные операции-одиночки, выполнением которых владеют уникальные для предприятия рабочие.

3. Повышение надежности каждого из отдельных элементов является довольно действенным способом повышения надежности всего технологического процесса.

4. Если представление о надежности станков и технологической оснастки не нуждается в подробном разъяснении, то отнесение термина «надежность» к человеку может этого потребовать (рис. 4.12).

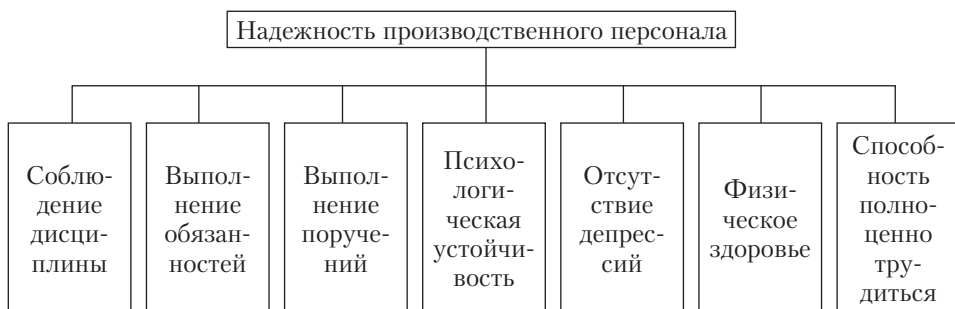


Рис. 4.12. Показатели надежности производственного персонала

Надежный работник не нарушает трудовую дисциплину, добросовестно выполняет все возложенные на него обязанности и данные ему поручения. Он психологически устойчив и не впадает в депрессию при неудачах, также не предаётся излишней эйфории при успехах. Он имеет достаточно хорошее физическое здоровье, которое позволяет ему полноценно трудиться весь трудовой день и весь календарный год.

5. Проектировать технологические процессы требуется с минимальным использованием последовательных связей элементов.

Рассмотрим для сравнения два технологических процесса обработки зубчатых колес.

В одном после зубофрезерования выполняется зубошевингование, затем закалка токами высокой частоты (ТВЧ) и финишная обработка отверстия и торцов (рис. 4.13). Показатель качества, плавность работы зубчатых венцов, зависит от большого числа последовательно связанных параметров различных элементов. Качество зубофрезерования определяется состоянием зубофрезерного станка, точностью червячной фрезы после ее заточки, точностью оснастки и заготовки. Достигнутые результаты изменятся при закалке, уровень снижения точности определится качеством материала заготовки и режимами термообработки.

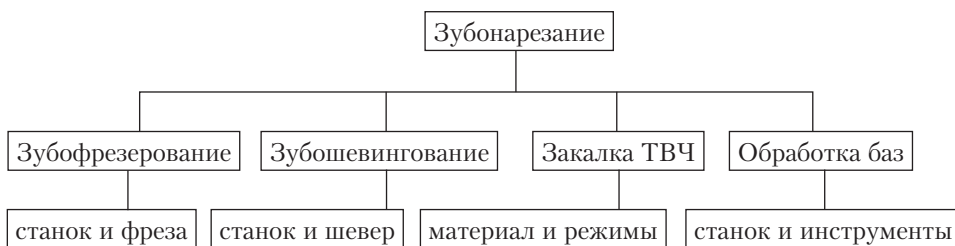


Рис. 4.13. Параметры при шевинговальном варианте зубообработки

При переходе на иную технологию — зубошлифование, общее число параметров сокращается, а последовательные связи почти полностью