

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова»

С.А. Кургузов

**ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ
ЕДИНИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Магнитогорск
2011

УДК 621.7

Рецензенты:

Доктор педагогических наук, профессор
ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет»
Е.В. Романов

Заведующий кафедрой машиноведения
ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет»,
профессор, доктор технических наук
В.С. Славин

Кургузов С.А.

Изготовление деталей в условиях единичного производства:
учеб. пособие. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им.Г.И.Носова, 2011. – 70 с.

В учебном пособии рассматривается структура технологии машиностроения, изложены основные методы и приведены примеры их применения, раскрыты особенности конструкций режущих инструментов, технологических процессов и их составляющих элементов, применяемых в ремонтном и единичном машиностроении.

Пособие предназначено для студентов специальности 151001 «Технология машиностроения».

УДК 621.7

© Магнитогорский государственный
технический университет
им. Г.И.Носова, 2011
© Кургузов С.А., 2011

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	6
1.1. Описание изделия, сборочной единицы, детали.....	6
1.2. Материал детали и его свойства.....	6
1.3. Анализ технологичности детали.....	11
1.4. Определение типа производства и размера партии.....	12
2. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	13
2.1. Типизация деталей	14
2.2. Обработка поверхностей вращения.....	15
2.3. Обработка отверстий.....	16
2.4. Обработка плоских поверхностей.	17
2.5. Обработка резьбовых поверхностей.....	18
2.6. Обработка зубчатых поверхностей	19
3. РАЗРАБОТКА МАРШРУТА ОБРАБОТКИ И ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	20
3.1. Технология изготовления валов.....	20
3.2. Технология изготовления втулок.....	22
3.3. Технология изготовления дисков	23
3.4. Технология изготовления рычагов, кронштейнов.....	24
3.5. Технология изготовления корпусов.....	25
4. РАСЧЕТ ОПЕРАЦИОННЫХ ПРИПУСКОВ И РАЗМЕРОВ.....	27
4.1. Назначение общих припусков.....	27
4.2. Расчетно-аналитический метод назначения припусков	28
4.3. Экономическая точность обработки.....	29
4.4. Расчет припусков по переходам операции	30
4.5. Расчет массы заготовки.....	32
5. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ	33
5.1. Построение операций на станке с ручным управлением ...	34
5.2. Построение операций для обработки на станках с ЧПУ	35
6. ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ	36
6.1. Выбор универсальных станочных приспособлений.....	36
6.2. Назначение режущего инструмента	37
6.3. Выбор контрольно-измерительного инструмента.....	45
6.4. Выбор вспомогательного инструмента.	46
7. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ И НОРМ ВРЕМЕНИ	46
7.1. Расчет режимов резания для универсальных станков.....	47
7.2. Особенности расчета режимов резания на станках с ЧПУ.	49
7.3. Техническое нормирование операций	49
8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ	51

8.1. Последовательность проектирования приспособлений.....	51
8.2. Расчет усилия зажима	53
8.3. Расчет допустимой погрешности изготовления приспособления	54
9. ТЕРМИЧЕСКАЯ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКИ	56
9.1. Термическая обработка.....	56
9.2. Химикотермическая обработка стали	58
10. РАСЧЕТ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ	58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	59
Библиографический список	60
Приложения.....	61

ВВЕДЕНИЕ

Машиностроение является важнейшей отраслью промышленности, производящей различные машины, станки, приборы и металлические предметы культурно-бытового назначения. Уровень развития машиностроения в решающей степени определяет состояние всех других отраслей промышленности, определяет производительность труда в производстве совокупного продукта и, в конечном итоге, уровень жизни людей.

Надежность и долговечность работы машин и механизмов в значительной степени зависит от качества деталей, которые изготавливают и устанавливают при изготовлении и ремонте оборудования. Их качество, в свою очередь, от материала детали, вида заготовки для детали и техпроцесса её изготовления

Обработка резанием является основным технологическим приёмом при изготовлении деталей машин и механизмов, она имеет достаточно высокую производительность, отличается необходимой точностью, универсальностью и гибкостью. В этом заключается её преимущество перед другими методами формообразования, особенно в индивидуальном и мелкосерийном производствах, что характерно для ремонтных предприятий.

Технологический процесс подразумевает правильный маршрут изготовления детали (последовательность операций обработки), использование соответствующего металлообрабатывающего оборудования, режущих и контрольных инструментов, рациональные режимы обработки для каждой операции.

Пособие предназначено для формирования у студентов знаний и умений технолога-машиностроителя, позволяющих самостоятельно разрабатывать технологические процессы изготовления деталей или контролировать готовые техпроцессы.

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

1.1. Описание изделия, сборочной единицы, детали

Объектом проектирования технологического процесса в машиностроении является деталь. Деталь должна быть представлена на рабочем чертеже с указанием всех размеров, их отклонений, шероховатости поверхностей и технических условий, в которых даются дополнительные указания.

Каждая деталь предназначена для выполнения определенных функций, например, передачи крутящего момента (вал), сборки в единую конструкцию прочих деталей устройства (*корпус)– Наиболее точно функциональное назначение может быть установлено при анализе сборочного чертежа механизма, в состав которого входит деталь. При отсутствии такового функциональное назначение устанавливается по аналогичным деталям.

Все поверхности детали разделяют на обрабатываемые с определенной точностью (поверхности сопряжений, базовые и др.) и не обрабатываемые или обрабатываемые без особых требований к точности.

1.2. Материал детали и его свойства

Материал детали определяет:

1. Способ получения заготовки (литье, штамповка, прокат).
2. Интенсивность обработки.
3. Наличие и вид термической обработки (наряду с техническими условиями).

В машиностроении применяют преимущественно следующие конструкционные материалы. Рассмотрим некоторые из них.

Чугун. В настоящее время для литья заготовок различных деталей на машиностроительных заводах наиболее употребительным материалом является чугун.

Чулуном называется сплав железа, углерода, кремния, марганца и других веществ, содержащих 2,14–4,5% углерода. Чугун классифицируется в зависимости от химического состава, назначения, структуры и технологии получения.

Отливки из серого чугуна маркируют буквами СЧ и двужначным числом (ГОСТ1412-85). Буквы обозначают серый чугун; число – предел прочности при растяжении в Н/м², например, СЧ28 расшифровывается: серый чугун с прочностью при растяжении не менее 280 МН/м². Применение необходимой марки определяется механическими свойствами.

Высокопрочный чугун получают введением в жидкий серый чугун чистого магния или сплава его с никелем, медью, алюминием или кремнием. Применением термической обработки можно улучшить механические свойства чугунов.

Ковкий чугун напоминает серый и отличается высокой вязкостью и структурой; он имеет графитные включения округленной или розетковой формы.

Стали. Сталь так же, как и чугун – сложный сплав железа с углеродом, но с меньшим содержанием углерода (до 2,14%) и примесей: кремния, марганца, фосфора и серы.

Сталь можно ковать, прокатывать и отливать. Она имеет высокие механические характеристики, ее можно обрабатывать резанием, закаливать и т.д. Вследствие высоких конструктивных качеств, благоприятного сочетания механических и технологических свойств, широко применяется как основной конструктивный металл в машиностроении.

Основными классификационными признаками стали являются способ производства, химический состав, назначение, качество, форма и размеры заготовок.

Конструкционные стали. Конструкционная сталь бывает углеродистой и легированной. Она служит для изготовления различных сооружений и инженерных конструкций, деталей машин, крепежных и других изделий. Их делят на стали обыкновенного качества (ГОСТ 380-05) и стали качественные машиностроительные (ГОСТ 1050-88).

Стали обыкновенного качества обозначаются буквами Ст и цифрой от 0 до 6: Ст0, Ст1–Ст6. Их применяют для изготовления сортового и листового проката, гвоздей, заклепок, болтов, труб, неотчетственных конструкций и т. д.

Сталь качественная обозначается словом сталь и двумя цифрами, например, сталь 05, сталь 90. Двухзначное число обозначает количество углерода в сотых долях процента, следовательно, сталь может содержать от 0,05 до 0,9% С.

Углеродистые качественные стали идут на изготовление балок, осей, рельсов, деталей машин, механизмов и т. д.

Легированные стали. Легированные стали обладают особыми свойствами: повышенной прочностью, твердостью, вязкостью и др.

Химический состав легированных сталей (табл. 1) является основой для их маркировки буквенно-цифровой системой [1]. Буквами обозначают легирующие элементы. Число, стоящее впереди марки конструкционной стали, обозначает среднее содержание углерода в сотых долях процента. За цифрами стоят буквы условных наименований легирующих элементов (табл. 2). Согласно

ГОСТ 4543-71 приняты следующие буквенные обозначения: Х – хром, Н – никель, Г – марганец, С – кремний, Т – титан, В – вольфрам, М – молибден, Ф – ванадий, Ю – алюминий, Д – медь, К – кобальт, Р – бор. Цифры после букв указывают содержание легирующих элементов в процентах (отсутствии цифры означает, что содержание легирующего элемента не превышает 1%). Если в конце названия марки стоит буква А, то это означает, что сталь высококачественная, содержащая наименьшее количество вредных примесей.

Например. *Сталь 20Х ГОСТ 4547-71 конструкционная, легированная, цементируемая с повышенной прочностью по сравнению с углеродистой сталью. Применяется для изготовления деталей (преимущественно некрupных), подвергаемых цементации и закалке и работающих на износ при трении: втулки, пальцы, зубчатые колеса, толкатели, валики и т.п.*

Таблица 1
Химический состав легированной стали

Марка	Углерод, С	Марганец, Mn	Кремний, Si	Хром, Cr
30	0,24-0,32	0,50-0,80	0,17-0,37	-
45	0,40-0,47	0,50-0,80	0,17-0,37	-
20Х	0,17-0,23	0,5-0,8	0,17-0,37	0,7-1,0
30Х	0,24-0,32	0,50-0,80	0,17-0,37	0,8-1,0
50Х	0,46-0,54	0,50-0,80	0,17-0,37	0,8-1,0
15Г	0,12-0,19	0,70-1,0	0,17-0,37	-
50Г	0,48-0,56	0,70-1,0	0,17-0,37	-
25ХГТ	0,22-0,29	0,8-1,10	0,17-0,37	1,0-1,3
38Х2МЮА	0,35-0,42	0,3-0,6	0,2-0,4	1,35-1,65

Данные по термообработке, химическому составу других сталей и сплавов приведены в справочнике [1].

Таблица 2
Механические свойства некоторых сталей

Марка	Механические свойства сталей			
	σ_T	σ_B	НВ	$\sigma_5, \%$
	МПа			
Ст3	250	380-500	148	26
20	245	412	160	25
30	312	520	186	20
45	353	600	200	16

Способ получения заготовки определяется прежде всего технологическими свойствами сплава из которого изготавливают заготовку, и конфигурацией детали: сплав льется или деформируется пластически и т.п. Обязательно учитывают тип производства, так как с повышением серийности становится экономически целесообразно получать более точные и сложные заготовки.

Заготовки, идущие на изготовление деталей, в зависимости от их назначения, формы и размеров, применяют следующие: 1) заготовки, полученные из сортового проката; 2) заготовки, полученные обработкой давлением (поковки, штамповки); 3) заготовки, полученные литьем (отливки); 4) заготовки, получаемые сваркой частей, получаемых из проката, отлитых или штампованных.

Отливки. Отливки получают литьем жидкого расплавленного металла, преимущественно в разовые песчаные формы.

Литейной формой называется устройство с определенными заданными очертаниями полости. Способ получения отливок в песчаные формы имеет большие недостатки. Он позволяет использовать форму только один раз и получать отливки с малой точностью, требующие больших припусков. Для устранения указанных недостатков разработаны прогрессивные способы литья, к которым относятся: литье в металлические формы, центробежный способ литья, литье под давлением, литье в оболочковые формы и др. (в рамках данной работы они не будут рассмотрены).

Поковки, штамповки и сортовой прокат. Поковки, штамповки и сортовой прокат получают обработкой металлов давлением. В единичном и мелкосерийном производствах поковки получают свободной ковкой молотами и прессами.

Поковки, полученные в штампах (инструмент с углублениями по форме изготавливаемой заготовки), называются *штамповками*, а процесс – *штамповкой*. Сущность штамповки заключается в том, что обрабатываемую заготовку помещают в штамп и под давлением она заполняет полости штампа, приобретая при этом заданную форму.

Преимущества штамповки по сравнению с ковкой: 1) высокая производительность (в 50–100 раз выше); 2) высокая точность размеров и меньшая шероховатость поверхности; 3) возможность получения изделий сложной формы с одинаковыми размерами; 4) не требуется высокой квалификации рабочих; 5) холодная калибровка (чеканка) поволоков может заменять фрезерование, но волокна металла не режутся, что обеспечивает высокую прочность.

К недостаткам необходимо отнести: 1) высокую стоимость штампов; 2) возможность использования штампов только для одной детали; 3) малую массу деталей (0,3–100 кг).

В качестве заготовок машиностроительная промышленность использует также разнообразный сортовой прокат. Полученный прокат может иметь форму листов, полос, прутков, труб, уголков, двутавров, швеллеров и т. д.

Заготовками для деталей класса «вал» наиболее часто служит либо сортовой прокат, либо штамповка или поковка. Отливку применяют в редких случаях, например, при изготовлении крупных валов из чугуна. Сортовой прокат применяется для изготовления средних и мелких деталей с небольшим переходом диаметров по ступеням вала (до 20-45 мм). Поковку применяют для изготовления средних и крупных валов сложной конфигурации, с большим перепадом диаметров, а также при специальных требованиях к структуре металла и при любых объемах выпуска. Штамповку применяют для изготовления различных валов при достаточно больших объемах выпуска.

Заготовками для деталей класса «штулка» служат: 1) сортовой прокат (либо пруток, либо труба) при изготовлении мелких деталей ($d < 50$ мм) несложной конфигурации; 2) штамповка при изготовлении деталей средних размеров ($d = 50 - 150$ мм) достаточно сложной формы при больших объемах производства; 3) отливки в землю или центробежное литье при изготовлении деталей сложной конфигурации из чугуна и больших размеров.

Заготовками для деталей класса «диск» служат: 1) лист, полоса, из которых методом газовой резки вырезается контур детали; применяются при изготовлении очень плоских деталей в единичном и мелкосерийном производствах; 2) штамповка (основной вид) для изготовления как сложных, так и простых деталей в серийном производстве; 3) отливки при изготовлении крупных деталей и деталей из чугуна.

Заготовками для деталей класса «рычаг» служат: 1) штамповка (основной вид) для изготовления как сложных так и простых деталей в серийном и массовом производствах; 2) отливки, применяемые для изготовления сложных, пространственных конструкций, особенно при наличии отверстий в бобышках с пересекающимися осями.

Заготовками для деталей класса «корпус» служат почти отливки, получаемые разными способами: литьем в землю (все размеры и все конфигурации) и пр. В ряде случаев заготовки изготавливают сваркой из предварительно отлитых или штампованных частей, а так же из проката (лист, полоса, уголок).

Эти рекомендации по выбору вида заготовки должны затем быть обоснованы технико-экономическими расчетами.

1.3. Анализ технологичности детали

Каждую деталь необходимо изготавливать с минимальными затратами всех видов ресурсов: времени, энергии, материалов. Эти затраты возможно снизить рациональным выбором варианта технологического процесса, его оснащения, применением оптимальных режимов обработки и т.д.

Трудоемкость изготовления детали зависит от ее конструкции и технических требований на изготовление.

Оценку технологичности конструкции детали производят по качественным и количественным показателям.

Качественная оценка технологичности указывается словами «хорошо-плохо», «допустимо-недопустимо». Общие оценки технологичности конструкции детали относятся к доступности поверхностей для обработки, возможность обработки поверхностей на проход, возможность параллельной обработки нескольких поверхностей, наличие пространства для выхода (перебега) инструмента.

Отдельному анализу подвергают технические требования на точность взаимного расположения поверхностей: отклонений от соосности, параллельности, перпендикулярности поверхностей. Здесь выявляют базовые поверхности, относительно которых задаются эти отклонения, устанавливают взаимосвязь базовых поверхностей.

Количественную оценку технологичности производят расчетом ряда показателей, характеризующих отдельные свойства.

Коэффициент использования металла

$$K_{ум} = M_{дет} / M_{заг},$$

где $M_{дет}$ – масса детали по чертежу, кг;

$M_{заг}$ – масса материала исходной заготовки.

Коэффициент использования металла в среднем должен быть 0,6–0,7; ниже 0,5 – плохо, допускается в мелкосерийном производстве при изготовлении сложных деталей.

Коэффициент унификации конструктивных элементов детали (диаметров отверстий, резьб, канавок, фасок и т.д.)

$$K_{уэ} = N_{уэ} / N_s,$$

где $N_{уэ}$ – число унифицированных элементов детали, шт.

N_s – общее число конструктивных элементов.

Коэффициент унификации конструктивных элементов в среднем должен быть 0,4–0,6; ниже 0,4 – плохо, допускается при изготовлении уникальных изделий оригинальной конструкции.

После выполнения отдельных оценок технологичности дается общее заключение о технологичности изготовления данной конст-

рукции детали. Здесь возможны предложения по улучшению технологичности за счет унификации конструктивных элементов, требований к точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей.

1.4. Определение типа производства и размера партии

Тип производства в значительной мере влияет на все технологические решения и уровень применяемой технологической оснастки. Определяется коэффициентом закрепления операций за рабочим местом

$$K_{з0} = O_n / P_M,$$

где O_n – суммарное число различных операций выполняемых на участке, в цехе;

P_M – число рабочих мест на участке, в цехе.

Типы производства характеризуются следующими значениями коэффициентов закрепления операций за станком.

Тип производства $K_{з0}$:

- Массовое 1.
- Крупносерийное. Св. 1 до 10.
- Среднесерийное. Св. 10 до 20.
- Мелкосерийное. Св. 20 до 40.
- Единичное. Св. 40.

Для предварительного определения типа производства удобнее пользоваться следующей таблицей (табл.3).

Единичное производство характеризуется широкой номенклатурой изготавливаемых изделий и малым объемом выпуска. В единичном производстве применяют универсальное оборудование и технологическую оснастку: приспособления, режущий и измерительный инструмент. Операции выполняют в несколько установов и содержат большое количество разнообразных переходов.

Серийное производство характеризуется ограниченной номенклатурой изделий, изготавливаемых периодически повторяющимися партиями. При серийном производстве используют универсальные станки, оснащенные специальными приспособлениями, специализированные станки, предназначенные для выполнения типовых операций. Главным видом оборудования являются станки с ЧПУ. Технологическая оснастка так же применяется как универсальная, так и специальная. С увеличением серийности производства применяется все больше специальной оснастки, операции выполняют в один установ с ограниченным числом переходов с применением комбинированного режущего инструмента.

Таблица 3.

Зависимость типа производства от объема выпуска (шт.)
и массы детали

Масса детали, кг	Тип производства				
	единичное	мелко-серийное	средне-серийное	крупно-серийное	массовое
< 1	< 20	20-2000	2000-20000	20000-100000	св. 1000000
1,0-4,0	< 15	15-1000	1000-10000	10000-75000	св. 75000
4,0-10	< 10	10-500	500-5000	5000-50000	св. 50000
10-20	< 7	7-250	250-2500	2500-25000	св. 25000
> 20	< 5	5-120	120-1200	1200-15000	св. 15000
< 1	< 20	20-2000	2000-20000	20000-100000	св. 1000000
1,0-4,0	< 15	15-1000	1000-10000	10000-75000	св. 75000

Массовое производство характеризуется ограниченной номенклатурой и большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых ряд лет. В массовом производстве применяют в основном специализированные станки и специальную технологическую оснастку, налаженные для выполнения одной – двух операций. Технологический процесс разбит на большое число специальных операций.

2. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Проектируя технологический процесс изготовления детали, намечают методы обработки каждой поверхности. При этом исходят из технологических возможностей метода и технологического оборудования, имеющегося на предприятии, применительно к форме обрабатываемой поверхности, к обеспечиваемой поверхности и к качеству поверхности, величине снимаемого припуска и т.д.

Обычно все методы обработки лезвийным инструментом подразделяют на следующие этапы по назначению:

- **черновая обработка**, имеющая целью механическое удаление общего припуска (75-80%), полное удаление напусков, наибольшее приближение формы заготовки к форме детали. Характеризуется максимальной глубиной резания, обеспечиваемой прочностью инструмента, значительными силами резания, полным использованием мощности станка;

- **полуцистовая обработка**, имеющая целью устранение погрешностей в форме и качестве после черновой обработки и подготовке поверхностей к чистовой (окончательной) обработке. На этом этапе снимается 15-20% общего припуска; режим резания ограничивается требованиями к точности и шероховатости поверхностей детали (точность не выше 12 квалитета Ra не менее 6,3 мм);

- **чистовая** (окончательная) обработка, имеющая целью окончательную обработку поверхностей нормальной точности (8–10 квалитет) и шероховатости (Ra не ниже 2,5 мкм);

- **отделочная обработка** поверхностей высокой точности (6–7 квалитет) и высокого качества (шероховатость Ra до 0,2 мкм).

При этом **абразивная обработка**, относящаяся к чистовым методам, подразделяется на:

- **предварительную**: на каждой снимается 60-70% припуска на абразивную обработку либо обрабатываются окончательно неточные поверхности (8–9 квалитет, Ra до 0,4 мкм);

- **чистовую обработку** точных поверхностей (6–7 квалитет, Ra до 0,1 мкм).

2.1. Типизация деталей

Количество деталей в машиностроении значительно. Производственный опыт позволяет достаточно точно классифицировать их массу на несколько основных классов, для каждого из которых существует вполне определенный типовой технологический процесс. Поэтому в начале проектирования необходимо отнести рассматриваемую деталь к одному из классов.

Таких классов пять.

1 класс ВАП – характеризуется удлиненной формой с соотношением длины (L) к среднему диаметру (D) свыше 5. Валы разделяются на жесткие $L/D < 12$ и нежесткие $L/D > 12$. Это один из самых многочисленных классов. К нему относятся просто валы, валы шлицевые, валы-шестерни, шпиндели, ходовые винты и т.п.

2 класс ВТУЛКА – характеризуется удлиненной формой с соотношением длины (L) к среднему диаметру (D) менее 5.

3 класс ДИСК – характеризуется соотношением $L/D < 0,5$ при наличии точного отверстия. К этому классу относятся разнообразные диски, плоские зубчатые колеса, кольца, крышки подшипниковых узлов и т.п. детали.

4 класс РЫЧАГ – не является телом вращения, характеризуется удлиненной формой (стержнем, соединяющим несколько (2-3) бобышек с точными отверстиями). Наружные поверхности этих деталей обычно не обрабатываются (кроме торцов точных отверстий в бобышках). Конструкции их весьма разнообразны. К ним относятся различные рычаги переключения, тяги, вилки, кронштейны и многие другие детали.

5 класс КОРПУС – не является телом вращения. Чаще всего он характеризуется формой параллелепипеда, в стенках которого имеются весьма точные отверстия (6-7 IT). Данные отверстия предназначены для установки в них подшипников, крышек и других деталей. Это самые сложные и трудоемкие в изготовлении детали.

Согласно этой классификации во многих учебниках по технологии машиностроения существуют разделы, описывающие «комплексную технологию механической обработки типовых деталей машин». В этом описании даются последовательность операций (маршрут), применяемое оборудование, схемы базирования и установки, а также методы обработки отдельных поверхностей, характерные для данного класса деталей.

2.2. Обработка поверхностей вращения

К наружным поверхностям вращения относят, цилиндрические, конические, торцевые и некоторые другие поверхности деталей вращения классов валов, втулок, дисков. Это наиболее часто встречающиеся виды обрабатываемых поверхностей. Типичный маршрут их обработки состоит из следующих этапов:

1. Лезвийная формообразующая обработка.
2. Термическая обработка (при необходимости).
3. Абразивная окончательная обработка по параметрам точности и качества.

Лезвийная (токарная) обработка наружных, торцевых и внутренних поверхностей:

- точение черновое (обдирочное) – с точностью 12-14 IT, шероховатостью поверхности Ra 25-50 мкм и 10-17 степенью точности формы;
- точение получистовое и однократное – с точностью 11-13 IT, шероховатостью поверхности Ra 6,3-25 мкм и 9-11 степенью точности формы;

- точение чистовое – с точностью 8-10 IT, шероховатостью поверхности Ra 2,5-12,5 мкм и 6-8 степенью точности формы;
- точение тонкое – с точностью 6-7 IT, шероховатостью поверхности Ra 0,63-1,25 мкм и 5-6 степенью точности формы.

Обработку указанных деталей проводят обычно на токарных, токарно-карусельных станках.

На указанных станках можно выполнить следующие переходы:

- 1) обтачивание наружных цилиндрических, конических и фасонных поверхностей;
- 2) подрезание торцевых поверхностей;
- 3) протачивание канавок и точение фасок;
- 4) нарезание наружной и внутренней резьбы;
- 5) сверление, зенкерование, развертывание отверстий;
- 6) центрирование;
- 7) разрезание (отрезание) и др.

Детали, образованные на станках токарной группы, устанавливают в центрах станка (длинные), либо в патроне (короткие). В качестве режущих инструментов используются разнообразные токарные резцы, оснащенные сменными многогранными пластинами (СМП) из твердого сплава.

Абразивную обработку осуществляют на кругло-шлифовальных станках, с установкой детали в центрах или патроне.

2.3. Обработка отверстий

Отверстия в деталях машин бывают цилиндрические, ступенчатые, конические и фасонные. Под ступенчатыми подразумевают отверстия разных диаметров, расположенные на одной оси последовательно одно за другим.

Отверстия могут быть открытыми с двух сторон (сквозные) или с одной стороны (глухие).

В деталях машин чаще всего встречаются отверстия цилиндрические и ступенчатые (90%), сквозные (70%).

Лезвийная обработка отверстий включает следующие операции:

- Сверление, способ получения отверстий в сплошном металле диаметром до 63 мм, обеспечивает получение отверстий точностью 12–14 IT и шероховатостью поверхности Ra 52–6,3 мкм.

- Рассверливание, применяют для увеличения диаметра имеющихся отверстий до 63 мм (точность 10 квалитет при обработке просверленного предварительно отверстия и шероховатостью Ra 10–3,2 мкм).

- Зенкерование, применяют для увеличения размеров (до 120 мм) и повышения точности отверстий: черновое (однократное) – 13–12 IT, Ra 25–6,3 мкм; чистовое – 10–8 IT, Ra 10–1,6 мкм.

- Развертывание, применяется для получения точных отверстий диаметром до 180 мм; нормальное (однократное) 9–10 IT, Ra 12,5–1,0 мкм; точное – 9–7 IT, Ra – 3,2–0,4 мкм; тонкое – 6 IT, Ra 1,6–0,2 мкм.

- Протягивание, применяется для получения точных отверстий диаметром 30–180 мм после предварительной грубой обработки (зенкерование) сразу окончательной точности: 9–7 IT, Ra 6,3–0,2 мкм.

- Растачивание, применяют для обработки отверстий диаметром до 500 мм; различают черновое – 13–12 IT, Ra 25–6,3 мкм; чистовое – 10–8 IT, Ra 6,3–0,8; тонкое – 7–6 IT, Ra 1,25–0,4 мкм.

Абразивная обработка включает операции:

- Шлифование отверстий (с диаметром от 3 мм) предварительное – 9–8 IT, Ra 6,3–0,4 мкм; чистовое – 7–9 IT, Ra 1,25–0,2 мкм, тонкое – 5 IT, Ra 0,8–0,1 мкм.

- Хонингование – 7–6 IT, Ra 0,8–0,2 мкм.

- Притирка (доводка) – 6–5 IT, Ra 0,4–0,05 мкм.

2.4. Обработка плоских поверхностей

Плоские поверхности характерны для класса «корпус». К ним относятся собственно плоские поверхности и поверхности, полученные сочетанием плоскостей (уступы, пазы). Различают поверхности открытые (доступные для обработки «на проход»), полуоткрытые (обработка в «упор») и закрытые (обработка «врезанием»). При обработке плоскостей наибольшие трудности вызывает получение заданной формы поверхности (плоскостность на всей ее длине и точность ее положения в пространстве, отклонение от параллельности, перпендикулярности).

Лезвийные методы обработки режущим инструментом:

- Строгание плоских открытых поверхностей (плоские пазы направляющие и тд.) на строгальных станках с помощью строгальных резцов. Предпочтительно применять для обработки длинных и узких поверхностей (с соотношением $L/B > 20$). Чем это соотношение выше, тем с большей эффективностью применяется строгание вместо фрезерования. Может выполняться в три операции: предварительное строгание (13–11 IT/ Ra 1,3–1,6 мкм), чистовое (10–9 IT/Ra 6,3–2,5) и тонкое (8–7 IT/Ra 2,3–0,6 мкм).

- Фрезерование – основной способ обработки плоских поверхностей на фрезерных станках с помощью самых разнообраз-

ных фрез. Единственно возможный для закрытых поверхностей. Выполняется в три этапа: фрезерование черновое (предварительное) (19–11 IT/ Ra 25–12); чистовое (10–9 IT/ Ra 6,3–1,25) и тонкое (8–7 IT/ Ra 0,63–0,1).

- Протягивание, применяется в крупносерийном и массовом производствах для обработки коротких (до 80 мм) поверхностей, часто представляющих сочетание плоскости и фасонных поверхностей. Выполняется на протяжных станках с помощью плоской комбинированной протяжки. Обеспечивает за один проход получение поверхностей 7–10 IT, Ra 1,25–6,3 мкм и 6–8 степень точности формы.

Чистовые методы обработки высокоточных плоских поверхностей:

- Шлифование торцом круга обдирочное применяют как предварительную обработку вместо фрезерования поверхностей с небольшим припуском (до 1–1,5 мм); черновое и чистовое кругами большего диаметра (диаметр 400–800 мм).

- Шлифование периферией круга. Менее производительное, чем торцом, но обеспечивает большую точность и качество поверхности. Применяют предварительное (9–10 IT, Ra 3,2–0,1 мкм), чистовое (8 IT, Ra 1,0–0,2 мкм), тонкое (7 IT, Ra 0,32–0,1 мкм).

Для отделки высокоточных поверхностей применяют:

- Шабрение для обеспечения высоких требований по плоскостности (Ra 2,5–0,16 мкм).

- Доводка абразивными пластинами применяется для больших по размерам плоских поверхностей (5–6 IT, Ra 0,05–0,2 мкм).

- Упрочняюще-чистовую обработку применяют для увеличения красностойкости поверхностей некоторых деталей; точность поверхностей не повышает, снижает шероховатость до Ra 0,1–0,63 мкм.

2.5. Обработка резьбовых поверхностей

Часто в деталях машин используют резьбовые поверхности для крепления деталей при сборке. Это обычная метрическая крепежная резьба нормальной точности от M2–M4 до M36–M48. Реже встречается резьба больших размеров с мелким шагом. На некоторых специальных деталях (ходовые и делительные винты) применяют другие виды резьбы (прямоугольная, трапецеидальная) высокой точности.

Отверстия с крепежной метрической резьбой в корпусных и других деталях обрабатывают в следующей последовательности в зависимости от размера:

1. Резьбы до М12: сверление отверстия по IT 10–12; нарезание резьбы.

2. Резьбы до М32: сверление отверстия диаметром 2/3 от номинала, рассверливание отверстия или зенкерование, нарезание резьбы.

3. Резьбы до М60: зенкерование предварительно прошитого или отлитого отверстия, чистовое зенкерование, предварительное нарезание резьбы, окончательное нарезание резьбы головками или расточными резцами.

Наружные резьбовые поверхности обрабатывают в следующей последовательности:

1. Цилиндрические поверхности обрабатывают до 10–11 IT, Ra 6,3–2,5 точением за две операции (черновую и чистовую), нарезают резьбу.

2. Крепежные резьбы до М24 нарезают плашками или резбонарезными головками (в мелкосерийном), накаткой (в массовом).

3. Крепежные резьбы свыше М24 в мелкосерийном производстве нарезают на токарно-винторезных станках резьбовыми резцами, резьбовыми гребенками, в крупносерийном производстве нарезают гребенчатыми фрезами на зуборезных станках.

4. После термической обработки ($HRC > 38-40$) при повышенных требованиях к резьбовым поверхностям их шлифуют одно- или многониточными кругами на резьбошлифовальных станках.

2.6. Обработка зубчатых поверхностей

Зубчатые колеса делят на цилиндрические, конические и червячные. По конфигурации зубчатые колеса делают в форме дисков, втулок (многовенцовые) и валов (вал-шестерня). Зубья имеют прямую и косую форму у цилиндрических колес, прямую и криволинейную у конических колес. В машиностроении наиболее часто зубчатые поверхности изготавливают 6–8 степени точности.

Самым распространенным формообразованием зубьев цилиндрических колес является зубонарезание по методу обката модульными червячными фрезами. Способ универсален: фрезой одного модуля можно нарезать зубья с разным их числом. Способ достаточно производителен и обеспечивает 7–8 степень точности зубчатого венца. Для обработки колес 7 степени точности применяются прецизионные червячные фрезы класса АА, а для 8 и 9 степеней точности соответственно классов точности А и В. зубчатые колеса с модулем до 2 нарезаются за один проход, с модулем 2–3 за два похода, а с модулем 3–8 за три похода.

При отсутствии зубофрезерных станков, а также при изготовлении шевронных шестерен, зубья нарезают по методу копирования

модульными дисковыми или пальцевыми фрезами с применением делительной головки на универсальных фрезерных станках.

Вариантом зубообработки является способ зубодолбления модульными долбьяками по методу обката. Применяется для обработки цилиндрических прямозубых и косозубых колес внешнего и внутреннего зацепления, секторов, блоков. Мелкомодульные колеса ($m < 2,5$ мм) обрабатывают за один проход, крупномодульные за 2–3 прохода. Обеспечивается 7–8 степень точности, Ra 2,5–1,25 мкм.

К чистовым методам обработки зубчатых колес относятся шевингование (не закаленных HRC 28–30), и шлифование (после закалки зубьев зубчатого венца), хонингование и притирка.

Червячные колеса обычно нарезают червячными фрезами с тангенциальной подачей на зубофрезерных станках (фреза размерами соответствует червяку). Достигают 7–8 степень точности, Ra 2,5–1,25 мкм.

3. РАЗРАБОТКА МАРШРУТА ОБРАБОТКИ И ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

3.1. Технология изготовления валов

В механизмах и машинах валы служат для передачи движения вращения. Обычно валы устанавливаются в корпусные детали на подшипниках качения и несут на себе детали передаточных устройств (шестерни, шкивы, муфты и т.п.).

Исполнительными поверхностями валов являются шпоночные пазы и шлицевые поверхности, сопрягающиеся с деталями передаточных механизмов, либо винтовые, зубчатые поверхности на самом валу. Через эти поверхности валы и передают крутящий момент.

После оценки необходимых этапов и методов обработки основных поверхностей детали приступают к самому сложному этапу проектирования технологического процесса – разработке операционного маршрута обработки и выбора соответствующего технологического оборудования – металлорежущих станков.

Выделим основные технологические базовые поверхности у деталей различных классов:

- У деталей класса «вал» это центровые отверстия, цилиндрические поверхности крайних шеек и один из торцов.
- У деталей класса «втулка» это наружная поверхность, основное, точное отверстие и торец.

- У деталей класса «диск» это наружные поверхности, торец наибольшего диаметра и отверстие.

- У деталей класса «корпус» это либо три взаимно перпендикулярные плоскости, либо основная плоскость и два точных отверстия под палец.

- У деталей класса «рычаг» это наружные поверхности двух бобышек и их торцы либо отверстие одной из бобышек и поверхность стержня.

Разрабатывая технологический процесс необходимо стремиться выполнить следующие условия:

- 1) на первой операции выполнить обработку основных технологических баз детали, базирясь на вспомогательные (черновые) базы (при обработке детали всех основных поверхностей) либо на черные – необрабатываемые впоследствии поверхности;

- 2) первыми выполнить операции черновой обработки, при которых снимают все напуски и наибольшие припуски;

- 3) обрабатывать вначале те поверхности, которые в меньшей степени снижают жесткость детали;

- 4) обрабатывать мелкие элементы (шпоночные пазы, канавки отверстия, нарезать резьбы, зубья);

- 5) первыми следует обрабатывать «начисто» такие поверхности, которые не требуют высокой точности и качества;

- 6) термическую обработку выполняют дважды: после черновых операций рекомендовано назначать нормализацию или старение для снятия остаточных технологических напряжений; окончательную (при необходимости) после всех формообразующих операций перед отделочной обработкой – закалку с отпуском;

- 7) отделочные операции по обработке наиболее точных поверхностей (шлифование, притирку–) выносят в конец технологического процесса.

Основными конструкторскими базами детали типа «вал» являются геометрическая ось подшипниковых шеек вала и торцовая поверхность одной из них, которой вал держится в корпусе в осевом направлении. Вспомогательными базами, определяющими положение присоединяемых к валу деталей, являются поверхности ступеней и их торцы, на которые садятся детали передаточных механизмов.

Основной технологической базой деталей типа «вал» принята ось центровых отверстий в крайних торцах вала, которые обрабатывают при базировании заготовки вала по будущим подшипниковым шейкам. Принцип постоянства базирования соблюдается обработкой валов почти на всех операциях в центрах (часто применяют базирование патрон – центр, патрон – люнет). Лишь в не-

которых случаях (фрезерование шпоночных пазов, сверление отверстий) вал базируют по поверхности подшипниковых шеек.

Типовой маршрут изготовления деталей типа «вал» состоит из следующих технологических операций (единичное производство):

1. Подрезание торцов и зацентровка вала или, для крупных деталей – фрезерование торцов и зацентровка вала на горизонтально-расточных или продольно-фрезерных станках с базированием по черным шейкам и торцу вала (или одной из ступеней).

2. Черновая токарная обработка на токарных станках с базированием по центровым отверстиям за два установа.

3. Термическая обработка – улучшение, нормализация, высокий отпуск.

4. Чистовая токарная обработка на станках с базированием на центровые отверстия (центр – патрон) за два установа.

5. Фрезерование шлицев, шпоночных пазов на вертикально-фрезерных или специальных станках с базированием по шейкам вала, на которых нарезают шпоночные пазы.

6. Фрезерование зубьев на зубофрезерном или универсально-фрезерном станке с базированием по крайней шейке и центральному отверстию.

7. Термическая обработка – цементация (для малоуглеродистых сталей), закалка (объемная или токами высокой частоты) и отпуск.

8. Окончательное шлифование под посадки шеек вала на кругло-шлифовальном станке.

9. Шлифование шлицев, зубьев на шлифовальных станках.

10. Калибровка или шлифование резьб и зачистка заусенцев.

11. Доводка особо точных поверхностей (6 квалитет).

12. Размагничивание, промывка, пассивация, сушка.

13. Приемочный контроль.

Наличие или отсутствие каких-либо конструктивных элементов (например, крепежных резьбовых отверстий в торце вала) приведет к включению в маршрут или исключению из него дополнительных операций.

3.2. Технология изготовления втулок

Детали класса «втулки» служат либо как промежуточные элементы для базирования в корпусных деталях подшипниковых опор, либо для выполнения функции передачи крутящего момента (шестерни).

Соответственно этому служебному назначению исполнительными поверхностями у втулок являются либо основное отвер-

стие и соосная ему наружная цилиндрическая поверхность, либо зубчатая поверхность или шпоночный паз.

Основной конструкторской базой у деталей класса «втулки» является ось основного отверстия, если деталь садится на вал, или наружной цилиндрической поверхности, если деталь вставляется в отверстие в корпусе.

Основной технологической базой при обработке деталей класса «втулки» являются основное отверстие и торец, относительно которых обеспечивается точность расположения остальных поверхностей.

Типовой маршрут обработки деталей класса «втулка»:

1. Сверление, рассверливание, зенкерование и развертывание основного отверстия, подрезка торца. База – наружная поверхность и торец. Станок токарно-винторезный, вертикально-сверлильный.

В дальнейших переходах база – основное отверстие и торец.

2. Протягивание основного отверстия шлицевой или комбинированной протяжкой, или протягивание (долбление) шпоночной канавки. База – основное отверстие и торец.

3. Черновое обтачивание наружных и торцевых поверхностей.

4. Чистовое обтачивание наружных поверхностей, подрезание торцов, прорезание канавок. Точение фасок. База – основное отверстие и торец.

5. Зубофрезерование (или зубодолбление) зубьев.

6. Термическая обработка (закалка и отпуск) ТВЧ зубьев.

В случае изготовления детали не из штучной заготовки весь цикл обработки (кроме шпоночных или шлицевых пазов и зубьев) производят на токарно-винторезном станке. Последним токарным переходом ставят отрезание детали от проката. Далее обрабатывают мелкие элементы, проводят термообработку ТВЧ. Если термообработка объемная, то после неё шлифуют отверстие, торец и, при необходимости, правят точные элементы детали.

3.3. Технология изготовления дисков

Детали класса «диски» служат как элементы передаточных механизмов для передачи крутящих моментов. Это одновенцовые зубчатые колеса, шкивы, диски тормозных муфт и им подобные детали.

Рабочими поверхностями этих деталей являются зубчатые венцы, канавки, отверстия под пальцы (у муфт). Конструкторской базой таких деталей являются торец большого диаметра и короткие основные отверстия.

Соответственно этому основной технологической базой являются один из торцов и основное отверстие.

Приведем типовой маршрут обработки деталей класса «диск»:

1. Черновая токарная обработка с одной стороны (с растачиванием основного отверстия). Токарно-винторезный или карусельный станок. База – наружная необработанная поверхность, торец.

2. Черновая токарная обработка с другой стороны. Оборудование операции. База – наружная обработанная поверхность, торец.

3. Термическая обработка – нормализация, улучшение.

4. Зенкерование и развертывание основного отверстия. Токарно-винторезный. База – наружная обработанная поверхность, торец.

5. Токарная чистовая обработка наружных поверхностей. База – поверхность отверстия и торец.

6. Протягивание или долбление шлицев или шпоночного паза в отверстии. Протяжной или долбежный станок. База – наружная обработанная поверхность, торец.

7. Зубофрезерование. Зубофрезерный, зубодолбежный полуавтомат. База – поверхность основного отверстия, торец.

8. Сверление, зенкерование отверстий, нарезание резьб в торцевых поверхностях детали. Вертикально-сверлильный, радиально-сверлильный. База – наружная обработанная поверхность, торец.

9. Термическая обработка: цементация, закалка и отпуск.

10. Шлифование (окончательное) базового торца. Плоскошлифовальный. База – торец.

11. Шлифование торца и основного отверстия. Внутршлифовальный. База – наружная обработанная поверхность, торец.

12. Приемный контроль.

3.4. Технология изготовления рычагов, кронштейнов

Рычаги, коромысла, собачки, толкатели, кулачки, захваты и другие подобные детали являются кинематическими звеньями механизмов машин, приборов и технологической оснастки и принадлежат к деталям класса «рычаг».

Базирование в механизмах подобных деталей осуществляется точным отверстием в бобышке и торцом бобышки.

При механической обработке отверстий в бобышке в качестве базы используют наружную цилиндрическую поверхность бобышки (одной или двух) и торец. При обработке остальных поверхностей за базу принимают основное отверстие в бобышке.

Технологический маршрут состоит из следующих операций:

1. Черновая и получистовая обработка отверстий и их торцов в бобышках рычага – вертикально-сверлильный или радиально-сверлильный станок, фрезерный станок. База – необработанная плоскость заготовки.

2. Фрезерование торцов бобышек с другой стороны – вертикально-фрезерный станок. Во всех остальных переходах база – обработанная плоскость заготовки.

3. Протягивание или долбление шлицев или шпоночного паза (при наличии) в отверстии бобышки – протяжной или долбежный станок.

4. Сверление, нарезание резьб в крепежных отверстиях бобышки – вертикально-сверлильный станок.

5. Шлифование базового торца – плоскошлифовальный станок.

6. Чистовая обработка отверстия в большой бобышке – вертикально-сверлильный станок.

7. Чистовая обработка отверстия в малой бобышке – вертикально-сверлильный станок.

8. Приемный контроль.

При необходимости применения термообработки, её назначают после 4 операции.

3.5. Технология изготовления корпусов

Корпусные детали являются базовыми деталями машин и механизмов, на которые монтируются отдельные сборочные единицы и детали. Они имеют сопряженные плоскости и точно обрабатываемые отверстия. Элементы детали, как правило, связаны между собой и базовыми плоскостями точными размерами и требованиями относительного расположения.

По конструкции корпусные детали можно разбить на две группы: призматические и фланцевые.

При обработке призматических деталей в качестве основной технологической базы используют либо три взаимно перпендикулярные плоскости, либо одну из плоских поверхностей (наибольших габаритов) и два точно обработанных отверстия. Последний вариант встречается чаще. У деталей фланцевого типа в качестве основной базы используют торец основного отверстия, само отверстие и для угловой фиксации ещё один конструктивный элемент (отверстие во фланце, паз в отверстии).

Типовой технологический маршрут обработки детали класса «корпус»:

1. Черновая и чистовая обработка основной установочной плоскости. Вертикально- или продольно-фрезерные станки. База – необработанная поверхность.

2. Сверление, развертывание двух базовых отверстий в основании корпуса. Вертикально- или радиально-сверлильный станок. База – необработанная поверхность.

3. Черновая и чистовая обработка плоскости крышки. Вертикально- или продольно-фрезерные станки. База – обработанная поверхность.

4. Черновое растачивание основных отверстий. Горизонтально-расточной станок. База – обработанная поверхность, базовые отверстия.

5. Высокий отпуск, искусственное старение для снятия остаточных напряжений.

6. Чистовая обработка двух базовых отверстий в основании корпуса. Вертикально- или радиально-сверлильные станки. База – обработанная поверхность.

7. Обработка прочих небольших плоскостей, уступов, пазов. Вертикально- или горизонтально-фрезерные станки. База – обработанная поверхность, базовые отверстия.

8. Сверление, зенкерование, снятие фасок и нарезание резьбы в крепежных отверстиях. Вертикально- или радиально-сверлильные станки.

9. Чистовое растачивание основных отверстий. Горизонтально-расточные станки.

10. Отделочная обработка основных отверстий. Алмазно-расточные станки. Хонинговальные станки.

11. Мойка, сушка, приемочный контроль.

Итак, рассмотрены основные типовые технологические процессы изготовления типовых классов деталей. Разумеется, в случае разработки конкретного процесса изготовления для конкретного предприятия и для конкретного промежутка времени технологии будут отличаться. На это повлияет наличие или отсутствие требуемого технологического оборудования, его техническое состояние, наличие рабочего соответствующей квалификации и режущего инструмента, а также еще большое количество субъективных и объективных факторов. Поэтому технологии на предприятии часто имеют значительные отличия от типовых. Задача технолога правильно составить технологический процесс с учетом особенностей производства на месте.

Рассмотрим элементы технологи изготовления деталей машин.

4. РАСЧЕТ ОПЕРАЦИОННЫХ ПРИПУСКОВ И РАЗМЕРОВ

После проектирования маршрута обработки детали определяют припуски и межоперационные размеры. Припуск – это слой металла, измеренный по нормали к обработанной поверхности заготовки, удаляемый с неё последовательными переходами с целью достижения требуемой формы, точности размеров и шероховатости формируемой поверхности. Припуски назначают на каждый переход. Рассчитав припуски, определяют межоперационные размеры, по которым ведут обработку элемента детали на разных этапах технологического процесса.

Расчет и назначение припусков – трудоемкая техническая и важная экономическая задача. Завышенные припуски увеличивают расход металла, объем металлообработки и себестоимость изготовления детали. Заниженные припуски не обеспечивают достижения нужного качества обработки и могут привести к браку.

В машиностроении применяют опытно-статистический метод установления припусков на обработку. При этом методе общие и промежуточные припуски берут по таблицам, составленным на основе обобщения производственных данных. Принципиальным недостатком этого метода является то, что припуски назначают без учета маршрута обработки детали, без учета схемы установки заготовки на станке, без учета погрешностей предшествующей обработки. Опытно-статистические припуски в большинстве своем завышены.

Более точным, хотя и трудоемким, является расчетно-экономический метод определения припусков, который излагается в [3].

4.1. Назначение общих припусков

Заготовку, предназначенную для механической обработки, изготавливают с припуском на размеры готовой детали. Разность размеров заготовки и окончательно обработанной детали определяет величину припуска, т.е. слоя металла, который должен быть удален при механической обработке.

Припуски разделяют на общие и операционные. Под общим понимают припуск, снимаемый в течение всего процесса обработки данной поверхности – от размера заготовки до окончательного размера готовой детали. Межоперационным называют припуск, который удаляют при выполнении отдельного перехода.

Величину припуска обычно устанавливают «на сторону», т.е. указывают толщину слоя, снимаемого с данной поверхности. Для цилиндрических деталей припуск указывают «на диаметр», т.е. указывают двойную толщину снимаемого слоя.

Припуск должен иметь оптимальные размеры. Чрезмерные припуски вызывают излишний расход металла (в стружку), увеличивают трудоемкость и себестоимость обработки детали. Слишком малые припуски не позволяют получить нужной точности и заданного качества обработки, что приводит к изготовлению несоответствующей продукции. Поэтому при неуверенности в точности расчетов припуски завышают.

На величину припуска влияют материал заготовки, размеры заготовки, вид и способы ее получения, сложность конфигурации заготовки, требования к точности и качеству поверхностей детали, наличие в технологическом процессе термической обработки и др.

Величину общих припусков определяют по соответствующим стандартам (ГОСТ 7505-74 на штамповки, ГОСТ 1855-55 на отливки) либо нормативными таблицами, разрабатываемыми каждым предприятием с учетом специфики своего производства. При учебном проектировании допускается использовать следующие расчетные зависимости.

Величина припуска для заготовок из проката

$$\begin{aligned} 2Z_d &= D^{0,4} \cdot L^{0,05} / IT^{0,45}, \\ 2Z_l &= D^{0,3} \cdot L^{0,05}, \end{aligned}$$

где Z_d – припуск на наибольший диаметр детали, мм;

Z – припуск на общую длину детали, мм;

D – наибольший диаметр детали, мм;

L – длина детали, мм;

IT – квалитет размера на диаметр D (6,7–10).

Величина припуска для отливки

$$Z = K_n \cdot K_m \cdot K_r^{0,5} \cdot D^{0,2} \cdot L^{0,05},$$

где K_n – коэффициент положения поверхности (поверхность расположена внизу отливки $K_n=1$; сбоку $K_n=1,1$ и сверху $K_n=1,3$);

K_m – коэффициент материала отливки (чугунное литье $K_m=0,8$, стальное литье $K_m=1,0$);

K_r – класс точности отливок (1 – массовое производство, 2 – серийное производство, 3 – ручная формовка);

D – размер, на который назначают припуск;

L – наибольшая габаритная длина отливки.

4.2. Расчетно-аналитический метод назначения припусков

В основе расчетно-аналитического метода назначения припусков лежит определение минимально необходимого припуска на

переход, который должен перекрывать следующие погрешности (для цилиндрической поверхности):

$$Z_{min} = 2 \left[(Rz + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right],$$

где h_{i-1} – толщина дефектного слоя (перенаклеп, трещины, прижоги, оставшиеся с предшествующего перехода), мкм;

Rz_{i-1} – высота микронеровностей, оставшихся с предшествующего перехода, мкм.

Здесь пространственные погрешности Δ и ε являются векторными величинами, поэтому суммируются по правилу квадратного корня. В тех случаях, когда удаление припуска осуществляется одновременно с двух сторон поверхности (обтачивание, шлифование цилиндрических поверхностей), минимальный припуск, назначаемый на диаметр удваивается, т.е. $2Z_{min i}$.

Величины h_{i-1} и Rz_{i-1} определяют методом получения заготовки (приложение 1) и методом обработки (приложение 2). Более подробные данные приводятся в справочной литературе [3].

Там же приводятся данные по определению величины γ_{i-1} для различных видов заготовок. На последующих этапах обработки эта величина обычно резко уменьшается; ее значение определяется коэффициентом уточнения

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{i-1} * K_y,$$

где $K_y = 0,02-0,08$ (в зависимости от метода обработки).

Погрешность установки заготовки на выполняемом переходе складывается из двух составляющих

$$\Delta_{\Sigma}^2 = (\Delta_6^2 + \Delta_3^2),$$

где Δ_6 – погрешность базирования, возникает при несовпадении установочной и измерительной баз, рассчитывают в зависимости от схемы установки по [5].

Δ_3 – погрешность закрепления, возникающая в результате смещения установочной базы относительно опоры в результате упругих и контактных деформаций элементов приспособления и детали, берется из опытных данных (приложение 3) [5].

4.3. Экономическая точность обработки

Каждый метод обработки, применяемый при получении той или иной поверхности, характеризуется прежде всего точностью. Различают экономическую и достижимую точность.

Под экономической точностью механической обработки понимают такую точность, которая при минимальной себестоимости обработки достигается в нормальных производственных условиях: работа на исправных станках с применением необходимых приспособлений и инструментов при нормальной интенсивности труда.

Под достижимой точностью понимают такую точность, которую можно достичь при обработке в особых, благоприятных условиях с применением нового оборудования, качественного инструмента и высокой квалификации рабочих, не считаясь с затратами времени.

При проектировании технологических процессов в большинстве случаев руководствуются таблицами экономической точности, принятыми для конкретного предприятия. Лишь в редких, ответственных случаях могут выполняться расчеты ожидаемой точности, включающие определение упругих и тепловых деформаций детали и инструмента, размерный износ инструмента, погрешности установки и закрепления, погрешности измерения и т.п.

В учебном процессе обычно пользуются усредненными значениями экономической точности обработки, приводимой в учебниках и справочниках (приложение 4). По этим данным назначаются допуски на межоперационные размеры заготовки на разных этапах ее обработки.

4.4. Расчет припусков по переходам операции

Порядок расчета минимальных припусков и предельных размеров обрабатываемых поверхностей следующий:

1. Пользуясь рабочим чертежом детали и намеченным маршрутом обработки отдельных поверхностей, записать в расчетную карту обрабатываемые поверхности и их конечные размеры и технологические переходы в порядке последовательности их выполнения от заготовки до окончательной обработки. (см. пример).

2. По таблицам (приложения 1–3) выбрать значения R_z , h и Δ_y . Рассчитать ε . Руководствуясь значениями экономической точности (приложение 4), назначить допуски d на межоперационные размеры.

3. Определить расчетные величины минимальных припусков на обработку Z_{\min} по всем технологическим переходам.

4. Записать для конечного перехода в графу «Расчетный размер», наименьший (наибольший для отверстий, пазов) предельный размер поверхности по чертежу.

5. Для перехода предшествующего конечному, определить расчетный размер путем прибавления к расчетному размеру (вы-

читания из расчетного размера) следующего за ним смежного перехода расчетного припуска z_{\min} .

6. Последовательно определить расчетные размеры для каждого предшествующего перехода путем прибавления к расчетному размеру (вычитания из расчетного размера) следующего за ним смежного перехода расчетного припуска z_{\min} .

7. Записать наименьшие (наибольшие) предельные размеры по всем технологическим переходам, округляя их увеличением (уменьшением) расчетных размеров. Округление производится до того знака десятичной дроби, с каким дан допуск на размер для каждого перехода.

8. Определить наибольшие (наименьшие) предельные размеры путем прибавления (вычитания) допуска к округленному наименьшему (наибольшему) предельному размеру.

9. Записать предельные значения припусков z_{\max} как разность наибольших (наименьших) предельных размеров и z_{\min} – как разность наименьших (наибольших) предельных размеров предшествующего и выполняемого переходов.

10. Определить общие припуски $z_{0\max}$ и $z_{0\min}$, суммируя промежуточные припуски на обработку.

Результаты расчетов обычно представляют в виде таблицы (табл. 4), а так же иллюстрируют схемой расположения припусков (рис. 1):

Таблица 4

Расчет припусков на обработку цилиндрической шейки
диаметром $\varnothing 290_{(-1,3)}$ мм

Маршрут обработки	Элементы припуска, мкм				Расчетный припуск $2Z_{\min}$, мкм	Расчётный размер d_{\min} , мм	Допуск	Принятые (округл) размеры по переходам, мм		Полученные предельные припуски, мкм	
	Rz	h	Δ_{Σ}	\mathcal{E}				d_{\max}	d_{\min}	$2Z_{\max}$	$2Z_{\min}$
Покровка 17 кв	1000		89	---	---	291,0 12	4500	295,6	291,1	---	---
Точение однократное 14 кв	40	40	4,43	128	2312	288,7	1300	290,0	288,7	5500	2400

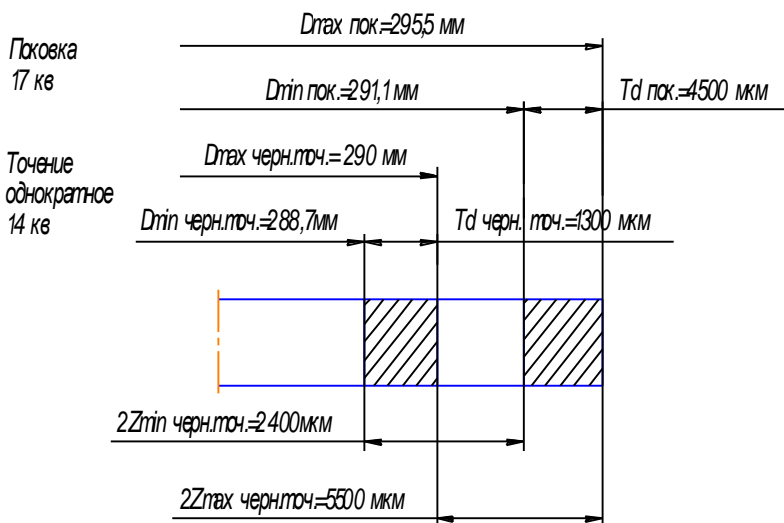


Рис. 1. Схема расположения припусков и межоперационных размеров

4.5. Расчет массы заготовки

Полученные значения общих припусков позволяют определить массу заготовки и коэффициент использования материалов $K_{им}$. Массу заготовки определяют как объем, умноженный на плотность сплава. Для вычисления объема заготовку представляют в виде совокупности элементарных фигур: цилиндров, параллелепипедов, конусов ... Объемы этих фигур суммируют, если они представляют внешние поверхности, и вычитают, если они образуют внутренние полости.

При этом обязательно учитывают напуски, предназначенные для упрощения конфигурации заготовки и скрывающие мелкие элементы детали, которые нецелесообразно получать на заготовке. Кроме того, учитывают технологическую возможность получения минимальных размеров конструктивных элементов: стенок, ребер, отверстий, канавок, уступов и т.д.

Ряд рекомендаций

Отливки. Напуском обычно закрывают все литые отверстия, отверстия под болты и углубления для головок, болтов, фаски, канавки. У зубчатых колес не отливаются зубья, канавки, разделяющие венцы. При отливке в заготовках отверстий с помощью стержней (часть литейной формы для формирования полостей в отливке) учитывают, что минимальный диаметр отливаемых отверстий

составляет 50 мм в единичном производстве. Причем глубина глухих отверстий не должна превышать $(1,5-2)d$, а сквозных – $(3-5)d$. Перепады диаметров в ступенчатых отверстиях менее 3–5 мм обычно закрываются напуском. Для извлечения модели из формы на поверхности, перпендикулярные линии разреза назначают литейные уклоны 3–5 град. Все углы в пересечениях поверхностей оформляются радиусом скругления 2–4 мм.

Штамповочные заготовки. Как и литые должны иметь упрощенные контуры, получаемые за счет напусков. Необходимо принимать во внимание возможность извлечения заготовки из полости штампов. На плоскости перпендикулярные линии разреза назначают штамповочные уклоны 2–4 град. Все углы пересечения поверхностей оформляют радиусами скругления 3-5 мм. Для этого на эскиз наносят плоскость предполагаемого разреза штампа. Глубину прошиваемых отверстий при штамповке ограничивают соотношением примерно $l/d < 2.5$.

Таким образом, определив объем заготовки вычисляют ее массу

$$M_3 = V_3 \cdot \rho, \text{ кг},$$

где V_3 – объем заготовки в мм^3 ; ρ – плотность материала в $\text{кг}/\text{мм}^3$ (сталь – $7,8 \cdot 10^6$, чугун – $7,7 \cdot 10^6$; сплавы алюминия – $2,7 \cdot 10^6$; бронза, латунь – $8,5 \cdot 10^6$).

Коэффициент использования материала определяют из соотношения

$$K_{\text{им}} = M_g / M_3,$$

где M_g – масса детали по чертежу, кг;

M_3 – масса заготовки.

Для рационального использования металла необходимо повышать коэффициент его использования. В среднем он не должен быть ниже 0,7.

5. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

Технологической операцией называют часть технологического процесса, которая выполняется на одном рабочем. Совокупность последовательных операций образует маршрут обработки.

Основными структурными элементами операции являются установы, позиции и переходы. Основным признаком установка является постоянность положения обрабатываемой заготовки в станочном приспособлении. Наиболее часто операция выполняется

за один установ. Обработка с переустановкой используется в мелкосерийном производстве на универсальных станках с ручным управлением.

Позицией называется каждое отдельное положение заготовки, занимаемое ею относительно станка при неизменном ее закреплении в приспособлении.

Основным структурным элементом технологической операции является переход. Элементарным переходом называется процесс образования одной типовой поверхности детали при ее обработке одним инструментом с постоянным режимом резания. В мелкосерийном производстве при обработке на универсальных станках с ручным управлением число переходов может составлять несколько десятков. В этих условиях задача формирования структуры операции становится многовариантной, оптимальное решение которой невозможно без сложных технико-экономических расчетов. На практике все определяет опыт технолога.

5.1. Построение операций на станке с ручным управлением

Станки с ручным управлением применяют в мелкосерийном производстве. Это универсальные токарные и токарно-карусельные станки, вертикально- и горизонтально-фрезерные, вертикально-сверлильные и прочие. Обработка на этих станках характеризуется высокой степенью концентрации операций, выполнением операций в несколько установов. В состав операций включают значительное число контрольных переходов.

Рассмотрим вариант изготовления втулки наружным диаметром 40 мм, внутренним диаметром 17Н7, длиной 40 мм, фасками $1 \times 45^\circ$.

План операции может быть следующим:

- 1. Установить пруток диаметром 45 мм с вылетом 55 мм и закрепить.*
- 2. Подрезать торец как чисто проходным отогнутым резцом.*
- 3. Зацентрировать под сверление центровочным сверлом.*
- 4. Обточить $d=42$ на длину 45.*
- 5. Сверлить отверстие $D=15$ на глубину 45 мм.*
- 6. Зенкеровать или расточить отверстие до $D=16,7 \pm 0,05$ мм.*
- 7. Обточить $d=40_{-0,1}$ мм.*
- 8. Точить канавку на длине 40 мм отрезным резцом.*
- 9. Точить фаски проходным отогнутым резцом.*
- 10. Расточить фаски проходным расточным резцом.*

11. Развернуть отверстие до $D=17H7$ машинной разверткой.

12. Отрезать деталь отрезным резцом с суппорта в размер $40_{-0,3}$.

Таким образом, в резцедержателе суппорта установили 3 резца: проходной отогнутый, расточной проходной и отрезной. В пиноли задней бабки необходимо последовательно устанавливать: сверло центровое, сверло $d=15$, зенкер $d=16.7$, развертку $d=17H7$.

В основном все инструменты на станках с ручным управлением работают с автономными режимами резания, которые устанавливаются каждый раз при выполнении перехода. Изменение чисел оборотов и подач составляет значительную долю вспомогательного времени на операцию.

5.2. Построение операций для обработки на станках с ЧПУ

Станки с числовым программным управлением (ЧПУ) являются основным видом оборудования, используемого в серийном производстве. Структура операции на таких станках складывается из множества (от 10-15 до 80-100) одноинструментальных переходов, выполняемых автоматически по заданной программе. Смена инструментов происходит автоматически. Также автоматически выполняется смена позиций заготовки. Таким образом, обработка на станках с ЧПУ характеризуется очень высокой концентрацией операций, благодаря чему один станок с ЧПУ заменяет от 2–3 до 5–7 станков полуавтоматов и станков с ручным управлением. А главное, переналадка такого станка на изготовление других деталей занимает 20–30 мин (смена управляющей программы, замена и регулировка некоторых инструментов и приспособлений) вместо нескольких часов, свойственных полуавтоматам.

Наиболее эффективно такие станки применяют при обработке корпусных деталей. Они сочетают в себе возможности сверлильных, фрезерных и расточных станков одновременно. Поэтому часто такие станки называются обрабатывающими центрами.

Деталь устанавливают на стол станка и закрепляют так, чтобы были доступны все четыре стороны ее (или по меньшей мере две). Обработка идет с вращением детали на столе (координата Z) и позиционированием шпинделя по осям Y и X . При наличии большого количества однотипных элементов на разных сторонах детали обычно возникает проблема как лучше строить схему обработки: обрабатывать все элементы с одной стороны, меняя режущие инструменты, либо обрабатывать все одинаковые элементы одним инструментом на всех сторонах. Обычно оценку ведут по затратам вспомогательно-

го времени: поворот стола или позиционирование выполняется обычно до 10–15 с, а смена инструмента требует 25–40 с.

Технология изготовления деталей на станке с ЧПУ в большинстве случаев не отличается или отличается незначительно от технологии для станков с ручным управлением. В силу лучшей технической оснащенности и больших жесткости и технологических возможностей, станки с ЧПУ позволяют упрощать технологию изготовления деталей, а также требуют персонала меньшей квалификации.

6. ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

После разработки последовательности и содержания операций приступают к поиску и назначению технологического приспособления. Станочное приспособление для установки и закрепления заготовки на станке выбирают или проектируют одно на операцию.

На каждый переход назначают свой режущий инструмент, измерительный инструмент для контроля получаемых размеров поверхности и вспомогательный инструмент (при необходимости) для закрепления режущего инструмента.

6.1. Выбор универсальных станочных приспособлений

Станочные приспособления выполняют функцию точной ориентации заготовки относительно рабочих органов станка (стола и шпинделя) и надежного закрепления заготовки, обеспечивающего неподвижность ее под действием сил резания.

Для нужд машиностроения выпускается значительное количество универсальных станочных приспособлений (токарные патроны, тиски, кондукторы и т.п.), которые рассчитаны на достаточно широкую область применения и широкий диапазон размеров закрепляемых заготовок.

Разнообразие конструкций деталей часто требует применения специальных станочных приспособлений, рассчитанных на обработку только этой детали и только на этой операции. Такие приспособления проектируют и изготавливают в индивидуальном порядке.

Помимо этих двух крайних разновидностей существует большое количество приспособлений с промежуточным уровнем специализации: универсально-наладочные приспособления, сборно-разборные приспособления, УСП и т.п.

Для подбора приспособлений существует большое количество каталогов и справочников [5].

При изготовлении деталей класса «вал» при обработке на токарных станках используют трехзубчатые патроны, двухзубчатые с пневмоприводом, поводковые, а также различного рода центры – поводковые, вращающиеся и не вращающиеся. При фрезеровании шпоночных пазов применяют специальные приспособления с призмами для установки валов по шейкам.

При изготовлении деталей класса «втулки» при обработке на токарных станках используют трехзубчатые цанговые патроны. При обработке наружных поверхностей – оправки гладкие, разжимные, цанговые.

При изготовлении деталей класса «рычаги» используют либо универсальные тиски со сменными губками, либо специальные наладки к тискам для закрепления детали по наружному контуру. При обработке отверстий используют либо скальчатые кондукторы со специальной наладкой, либо специальные приспособления.

При фрезеровании пазов или сверлении отверстий применяют специальные приспособления либо с призмами, либо с центрирующим стержнем.

При изготовлении деталей класса «диски» при токарной обработке наиболее часто используют трехзубчатые патроны либо приспособления с планшайбой и центрирующим пальцем.

Больше всего сложных специальных приспособлений требует изготовление корпусных деталей. Лишь для простых деталей в мелкосерийном производстве можно использовать тиски со сменными губками. Чаще всего для фрезерных работ создают специальные приспособления с пневмо- или гидроприводом, часто многоместные.

Для сверлильных операций применяют кондукторы накладные для крупных деталей.

6.2. Назначение режущего инструмента

Выбор режущего инструмента, его конструкции и размеров определяют видом технологической операции (точение, фрезерование, развертывание), размерами обрабатываемой поверхности, свойствами обрабатываемого материала, требуемой точностью обработки и величиной шероховатости поверхности. Основную массу режущих инструментов составляют конструкции нормализованного и стандартизованного инструмента, для выбора которого существуют многочисленные справочники и каталоги.

Первой задачей, решаемой технологом при выборе режущего инструмента, является назначение материала режущей части в строгом соответствии с материалом обрабатываемой детали и его свойствами (главным образом, твердостью).

Рассмотрим основные материалы, применяемые для изготовления инструментов.

Инструментальные стали. Инструментальная сталь предназначена для изготовления разнообразного инструмента: режущего, измерительного, штампового и др.

По химическому составу инструментальную сталь делят на углеродистую и легированную. Инструментальной углеродистой сталью обычно называют сталь, содержащую 0,65–1,35% углерода. Углеродистую сталь с большим содержанием углерода не применяют, так как она чрезмерно хрупка. Данные стали делят на две группы (ГОСТ 1435-99): качественные и высококачественные.

Углеродистую инструментальную сталь маркируют буквой У с последующей цифрой от 7 до 13. Буква свидетельствует, что сталь углеродистая инструментальная, а цифра определяет примерное содержание в ней углерода в десятых долях процента. Например, марка У9 – углеродистая инструментальная сталь с примерным содержанием углерода 0,9%. Если в марке стали в конце стоит буква А, то это высококачественная инструментальная сталь, например, У7А. Высококачественная сталь, по сравнению с качественной, содержит меньше марганца и вредных примесей (серы до 0,02%, фосфора до 0,03%).

Легированные инструментальные стали (ХВГ, 9ХС, Х12Ф1 и др.) имеют повышенные механические свойства и работают в более сложных условиях.

Цифры в марке стали обозначают примерный состав (в процентах) входящих компонентов. Первая цифра слева от буквы определяет содержание углерода в десятых долях процента, если содержание углерода менее 1%. Цифры справа от буквы указывают среднее содержание легирующего элемента в процентах.

К высокотемпературостойким инструментальным материалам относятся *быстрорежущие* стали (Р6М5, Р18, Р9, Р18Ф5К5 и др). Эти стали используют для изготовления фасонных, резьбовых и отрезных резцов, фрез, зуборезного инструмента, протяжек и других режущих инструментов.

Следует заметить, что в состав всех быстрорежущих сталей входит кремний (3,5–4,3%), поэтому в маркировке он не указан.

Твердые сплавы. К спеченным твердым сплавам относятся материалы, состоящие из высокотвердых и тугоплавких карбидов вольфрама, титана, тантала, сцементированных металлической связкой методом порошковой металлургии. В последнее время они приобрели широкое применение для изготовления режущих инструментов и деталей специальных машин, так как выдерживают высокие температуры нагрева, что объединяет их в общую группу красно-

стойких материалов. Инструменты, изготовленные из металлокерамических сплавов, при нагреве до 1200°С, а минералокерамические до 1500°С не теряют твердости и режущих свойств.

Среди большого многообразия металлокерамических материалов особое место занимают твердые сплавы, которые отличаются высокой твердостью, прочностью, износостойкостью и т.д.

Спеченные твердые сплавы

Металлокерамические материалы называются спеченными твердыми сплавами потому, что их изготавливают из мелких порошков карбидов металлов вольфрама, титана и др. по технологии, напоминающей изготовление деталей из керамики. Из них изготавливают пластинки для резцов, фрез, сверл и разверток.

Различают три группы твердых сплавов (ГОСТ 3882-74); вольфрамовые (ВК3, ВК4, ВК6, ВК8, ВК10, ВК15, ВК20 и др.) – применяют для обработки резанием хрупких материалов, таких, как чугун, бронза, стекло, камень и пр.; титановольфрамовые (Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, Т5К12 и др.) – применяют для обработки пластичных сплавов, таких, как сталь, латунь, алюминий и др.; и титанотанталовольфрамовые (ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ20К9 и др.) – применяют для обработки труднообрабатываемых, жаропрочных и в других случаях при тяжелых видах работ. Твердые сплавы содержат карбиды вольфрама, титана, тантала и кобальт примерно в таком процентном количестве, как значится в числе, рядом стоящем с буквенным обозначением. Так, например, сплав ВК8 содержит 92% карбида вольфрама и 8% кобальта; сплав Т15К6 содержит 15% карбида титана и 6% кобальта, а остальные 79% составляет карбид вольфрама. Твердосплавные пластинки, напаянные на режущую часть инструментов, по твердости приближаются к алмазу и применяются для обработки деталей из конструктивных, в том числе закаленных, сталей и других материалов.

В связи с дефицитом вольфрама производят безвольфрамовые твердые сплавы – керметы, которые обладают одновременно жаропрочностью, окалинотойкостью, коррозионной стойкостью и твердостью. *Керметы* – это порошковые сплавы металлов и неметаллических материалов (карбидов, окислов, нитридов, боридов силицидов и т.д.). Обычно в качестве связующего материала используют никель, кобальт, хром и др.

Минералокерамические инструментальные материалы обладают высокой твердостью, износостойкостью и хорошими режущими свойствами. В настоящее время для режущих инструментов минералокерамические пластинки изготавливают из окиси алюминия Al_2O_3 : термокорунд ТВ и микролит ЦМ. Микролит ЦМ-322.

Минералокерамические сплавы имеют повышенную хрупкость. Так, например, спеченные твердые сплавы характеризуются пределом прочности на сжатие до 4000 МН/м^2 и на изгиб до 1300 МН/м^2 , а минералокерамика имеет предел прочности на сжатие 2500 МН/м^2 и на изгиб $300\text{--}400 \text{ МН/м}^2$, твердость HRA 90-93, температурную стойкость $1300\text{--}1500^\circ \text{C}$, плотность $3,75\text{--}3,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Минералокерамические сплавы необходимо применять в условиях работы без ударных нагрузок и вибраций. Следовательно, эти материалы нужно использовать при чистовых операциях и высоких скоростях резания.

Абразивные материалы и инструменты. Абразивные материалы – это естественные и искусственные твердые вещества, которые применяют для изготовления шлифующих инструментов (кругов, брусков и т.д.). Они характеризуются зернистостью, связующим веществом, твердостью, формой и размерами.

По ГОСТ 3647-80 абразивные материалы делят на следующие группы: шлифзерно, шлифпорошки, микропорошки и тонкие микропорошки.

Связующее вещество – это связка для абразивных материалов. Она бывает керамическая, бакелитовая, вулканитовая и металлическая.

В качестве абразивных материалов применяют песчаник, наждак, корунд, электрокорунд, карборунд, карбид бора, алмаз и другие материалы, твердость которых определяется микротвердостью. Самым твердым материалом является алмаз. Алмаз используют в виде мелких крошек и пыли, из которых изготавливают особенно твердые инструменты для обработки сверхтвердых материалов и правки шлифовальных кругов.

Синтетические алмазы, подобно природным, после обработки и сортировки используют при изготовлении режущих инструментов: кругов, брусков, надфилей и других специальных инструментов. Синтетические алмазы применяют для окончательной обработки деталей в виде порошков и паст.

Получили широкое распространение сверхтвердые материалы – эльбор, славутит – сверхтвердые материалы высокой износостойкости, превосходящие по прочности алмаз. Их применяют для изготовления карандашей, брусков и роликов, необходимых для правки абразивных кругов, для оснащения резцов, требующих высокой стойкости.

Общие же рекомендации следующие. Основным материалом современных режущих инструментов являются металлокерамические твердые сплавы, применяемые в виде сменных много-

гранных пластин (СМП). Для сложного фасонного инструмента применяют быстрорежущие стали (протяжки, резьбонарезной и зубонарезной инструмент). Для изготовления абразивного инструмента помимо обычного электрокорунда все шире применяют синтетические сверхтвердые материалы на основе кубического нитрида бора.

Рекомендации по применению инструментальных материалов приведены в приложении 5.

В конструкции инструментов пайку твердосплавных пластин необходимо заменять их механическим креплением. Пайку использовать в мелкоразмерных конструкциях.

Геометрические параметры режущей части инструментов

Режущая часть инструмента ограничивается рабочими поверхностями, которые, в зависимости от расположения относительно обрабатываемого изделия, имеют определенные названия. Обычно режущая часть имеет одну переднюю и несколько задних поверхностей (рис. 2).

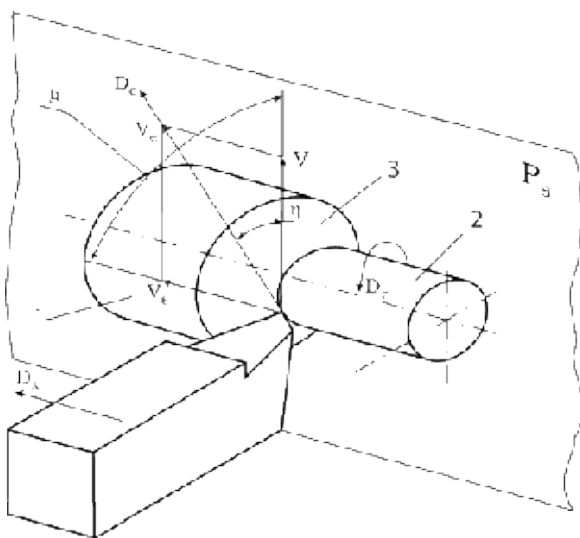


Рис. 2. Поверхности и движения при резании:

- 1 – обрабатываемая поверхность; 2 – обработанная поверхность;
- 3 – поверхность резания; P_s – рабочая плоскость; V – вектор скорости резания; V_s – вектор скорости движения подачи;
- V_e – вектор скорости результирующего движения; D_r – главное движение; D_s – движение подачи; D_e – результирующее движение

На рис.3 показаны рабочие поверхности и режущие кромки режущих частей: а – токарного резца, б – долбежного резца, в – спирального сверла, г – слесарного зубила, д – зерен абразивного инструмента.

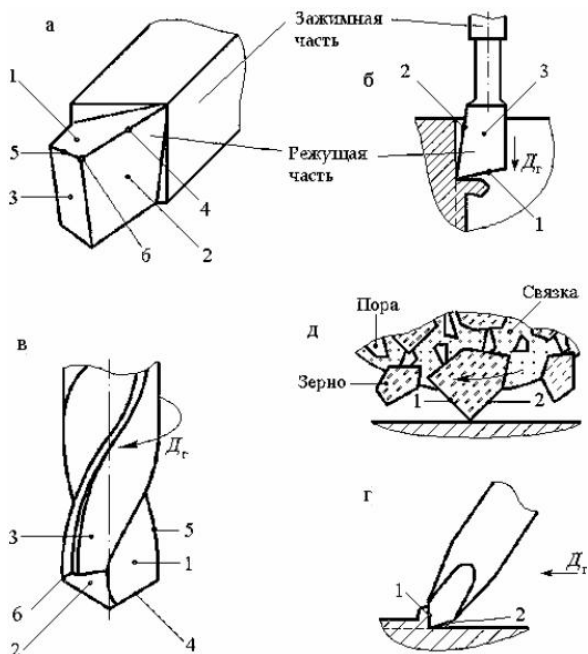


Рис. 3. Составные части инструментов:

- 1 – передняя поверхность; 2 – главная задняя поверхность;
- 3 – вспомогательная задняя поверхность; 4 – главная режущая кромка; 5 – вспомогательная режущая кромка;
- 6 – вершина режущего лезвия

Передней поверхностью 1 называют поверхность, по которой сходит образующаяся в процессе резания стружка. Главной задней поверхностью 2 называют поверхность, обращенную к поверхности резания. Вспомогательной задней поверхностью 3 называют поверхность, обращенную к обработанной поверхности. Ребро, которое образуется в результате пересечения передней и главной задней поверхности, называют *главной режущей кромкой* 4. Пересечением передней поверхности со вспомогательной задней поверхностью образуется *вспомогательная режущая кромка* 5. Точка пересечения главной 4 и вспомогательной 5 режущих кромок называется *вершиной* 6 режущего лезвия (резца, режущего зуба).

Основной плоскостью P_v называют координатную плоскость, проходящую перпендикулярно направлению главного движения (вектору скорости резания).

Плоскостью резания P_n называют координатную плоскость, проходящую через главную режущую кромку перпендикулярно основной плоскости.

Плоскость, проходящую через главную режущую кромку перпендикулярно основной плоскости и параллельно направлению движения подачи, называют рабочей плоскостью P_s .

Геометрические параметры режущего инструмента рассматривают в плане, т.е. в проекции на основную плоскость, и в секущих плоскостях: главной секущей плоскости, нормальной секущей плоскости, в рабочей плоскости и в других вспомогательных секущих плоскостях.

Нормальной секущей плоскостью P_n называют секущую плоскость, проходящую перпендикулярно (нормально) режущей кромке в рассматриваемой точке.

Главной секущей плоскостью P_n называется координатная плоскость, перпендикулярная линии пересечения основной плоскости с плоскостью резания и проходящая через главную режущую кромку.

В плане, т.е. в проекции на основную плоскость, рассматривают следующие углы: главный угол в плане φ – угол при вершине в плане ε , вспомогательный угол в плане φ_1 .

В главной секущей плоскости P_x рассматривают углы: главный задний α , передний γ и угол заострения β . Во вспомогательной секущей плоскости рассматривают и измеряют только один угол – вспомогательный задний угол α_1 . В плоскости резания измеряют угол наклона главной режущей кромки λ .

Система сил при резании. При механической обработке готовую деталь-изделие требуемой формы и качества обработанных поверхностей получают в результате удаления с заготовки слоя (слоев) припуска в виде стружки, состоящей из пластически деформированного обрабатываемого материала. Пластическое деформирование срезаемого слоя припуска происходит под действием силы, превосходящей сопротивление обрабатываемого материала его деформации и разрушению. Образующаяся стружка опирается на переднюю поверхность инструмента и действует на него с силой нормального давления N .

В инженерных расчетах используют не общую силу резания (см. рис. 4), а ее проекции на взаимно перпендикулярные направления: направления Z , X , Y . Каждая проекция называется составляющей силы резания и имеет свое собственное название: проек-

ция на ось Z называется главной составляющей силы резания, обозначается P_z , проекция на ось Y называется радиальной составляющей силы резания, обозначается P_y –

Расчет величины составляющих силы резания для практических целей проводят по эмпирическим формулам с использованием данных справочной литературы [4].

6.3. Выбор контрольно-измерительного инструмента

Выбор измерительных средств зависит от масштаба производства. В единичном и мелкосерийном производствах применяют универсальные средства контроля (штангенциркули, микрометры, микрометрические нутромеры и т.п.). При крупносерийном и массовом производстве применяют специальные средства (калибры-скобы, калибрь-пробки, шаблоны и т.д.), а универсальные средства применяют для наладки и контроля технологического процесса (наборы мерных плиток, индикаторы и т.п.).

Главным критерием при выборе измерительных средств является допуская погрешность измерения $\Delta_{изм}$, которая зависит от допуска IT на изготовление изделий. Для размеров до 500 мм установлены ряды погрешностей измерения для 2–17 квалитетов. Для грубых квалитетов 12–17 допуская погрешность измерения около 20%, а для точных квалитетов 6–11, около 35% от допуска на изготовление. Установленные таким образом погрешности наибольшими, которые можно допускать при измерении; включают как случайные, так и неучтенные систематические погрешности измерения. Случайная погрешность измерения не должна превышать 0,6 от предела допуская погрешности. Рассчитанная таким образом погрешность измерения является основанием для выбора удовлетворяющего средства измерения. Так предельные погрешности измерения наружных линейных размеров контактными средствами в диапазоне 80–120 мм составляют: для рычажных микрометров и скоб – 5–15 мкм, для штангенциркулей 100–200 мкм, для гладких микрометров 10–15 мкм и т.п.

В качестве проектируемого измерительного инструмента могут быть выбраны предельные резьбовые калибры, шлицевые калибры, могут быть спроектированы простейшие контрольные приборы и приспособления (для контроля межцентрового расстояния, отклонения в симметричности шпоночного паза оси, отклонения от перпендикулярности плоскости торца оси отверстия).

6.4. Выбор вспомогательного инструмента

К вспомогательным инструментам относят такие детали и устройства, которые обеспечивают установку режущих инструментов в шпиндель (суппорт) станка, когда их посадочные места не совпадают по форме и размерам. Например, сверло с конусом Морзе 1 нельзя вставлять непосредственно в шпиндель сверлильного станка с конусом Морзе 3; требуется переходная втулка. Или метчик с цилиндрическим хвостовиком можно вставить в конус шпинделя сверлильного станка лишь с помощью специального патрона. Очень многие типы фрез (цилиндрические, дисковые, пазовые) требуется устанавливать на специальных оправках, которые уже потом закрепляют в шпинделе фрезерного станка. Поэтому на многие переходы, помимо режущего и измерительного назначают вспомогательный инструмент.

Необходимость во вспомогательном инструменте устанавливается при сопоставлении формы и размеров посадочного места в шпинделе (суппорте) станка (из паспортных данных) и формы и размеров хвостовика (отверстия) режущего инструмента (так же из справочных таблиц).

подавляющее большинство режущих инструментов стандартизовано (переходные втулки, патроны для метчиков, разверток, оправки для насадных фрез). Справочные данные о них помещаются в справочниках на станочные приспособления, в справочниках технологов, в специальных справочниках для отдельных видов оборудования.

Ряд оправок (например, для сборных фрез) проектируют как оригинальные конструкции.

В технологических картах приводят наименование технологического оборудования, приспособления, режущего, измерительного и вспомогательного инструментов, их типоразмер и ГОСТ.

Результатом выполнения этого раздела должно быть заполнение граф «Приспособление», «Режущий инструмент», «Измерительный инструмент», «Вспомогательный инструмент» в карте технологического процесса.

7. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ И НОРМ ВРЕМЕНИ

В расчет режима резания по каждому переходу входит определение: t – глубины резания, мм; S_0 или S_m – осевой или минутной подачи, мм/об или мм/мин; V – скорости резания, м/мин (м/с – при шлифовании); i – количества ходов инструмента; L – длины хода инструмента и D – расчетного размера.

Глубину резания рекомендуется назначать равной величине припуска, снимаемого на данном переходе (обработка в один проход). Обработку за 2 и более проходов проводят нарезанием резцы резцом, а также на черновых операциях, при удалении напусков, когда значительная глубина резания (свыше 3-5 мм) ограничена прочностью режущего инструмента или мощностью станка.

Подача режущего инструмента обычно ограничивается на чистовых операциях требуемой величиной шероховатости ($S_o=0,05-0,1$ мм/об), на черновых – прочностью механизма подачи станка ($S_o=0,7-1,5$ мм/об). Чем выше подача, тем выше производительность обработки.

Скорость определяет производительность как и подача. Назначают максимально возможную, но скорость ограничивается периодом стойкости инструмента между переточками. Нормативной считается стойкость в 45 мин машинного времени резания. При чистовой обработке и требованиях к высокой точности (6-7 качество) стойкость может быть увеличена до 60 и даже 90 мин.

Существуют два метода расчета режима резания: аналитический (по формулам Тейлора) и статистический (по справочным таблицам). При курсовом и дипломном проектировании рекомендуется выполнять аналитический расчет на 3-4 наиболее сложные и ответственные операции (точение, фрезерование, шлифование). На остальные операции режимы резания устанавливают по справочным таблицам, рекомендуемым для принятого типа производства и вида обработки.

7.1. Расчет режимов резания для универсальных станков

Обработка на универсальных станках характеризуется тем, что почти все переходы выполняют каждый отдельным инструментом при индивидуальном режиме резания с переключением подач и чисел оборотов резания.

Исходными данными для расчета являются материал детали и состояние заготовки (прочность, твердость материала), материал режущей части инструмента, тип режущего инструмента и иногда вид оборудования.

Сначала устанавливают глубину резания из условия однопроходной обработки. Определяется глубина резания из геометрических соотношений схемы обработки (см. рис. 1.).

Затем определяют подачу. Обычно её выбирают из таблиц в зависимости от требуемой шероховатости поверхности (см. приложение 2).

Далее определяют скорость резания V_p . Чаще всего её рассчитывают по формуле [4]

$$V_p = C_v \cdot K_m \cdot K / (T^m \cdot t^x \cdot S^y),$$

где C_v – константа, определяемая для стандартных условий обработки;

T – период стойкости;

m, x, y – показатели степени;

t – глубина резания;

S – подача;

K_m – поправочный коэффициент на материал детали;

$K = K_m \cdot K_{ум} \cdot K_{г}$ – поправочные коэффициенты на отклонения от стандартных условий резания.

Необходимые для расчета показатели степени и коэффициентов приведены в справочной литературе [4].

Здесь наиболее трудным является выбор периода стойкости режущего инструмента между переточками. Для большинства инструментов нормативной возможной стойкостью является значение 40–45 мин машинного времени резания. При чистовой обработке мерным (развертки, протяжки) или фасонным инструментом (метчики, зуборезный инструмент) период стойкости принимается от 60 до 90 мин.

Для установки на станке полученных режимов обработки скорость резания необходимо пересчитать в число оборотов

$$n = 1000 \cdot V_p / (\pi \cdot D), \text{ об/мин},$$

где D – диаметр обработки или диаметр инструмента, мм.

Полученное значение n должно быть округлено, скорректировано по паспорту станка. Но так как в справочной литературе по станкам обычно указывают только диапазон скоростей от n_{\min} до n_{\max} и количество ступеней Z , то исходя из известной формулы

$$n_{\max} = n_{\min} \cdot j^{Z-1},$$

определяют знаменатель ряда j (он имеет стандартные значения 1,12, 1,26, 1,41), а затем и весь ряд чисел оборотов

$$n_i = n_{i-1} \cdot j,$$

естественно с округлением. Для черновых, тяжело нагруженных операций рекомендуется определить главную составляющую силы резания P_z

$$P_z = C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^j \cdot K_m,$$

и требуемую мощность электропривода станка

$$N_{пр} = P_z \cdot V_p / (60 \cdot 1020), \text{ кВт.}$$

где C_p , x , y , n , K_m – коэффициенты и показатели степени находятся по таблицам [4]; коэффициент полезного действия привода главного движения (0,8-0,85). Мощность привода станка должна перекрывать расчетную мощность резания на 15-20%.

7.2. Особенности расчета режимов резания на станках с ЧПУ

В общем случае режимы резания на станках с ЧПУ могут называться как на обычные с ручным управлением. Однако, высокая стоимость времени обработки на этих станках требует интенсивного их использования. Интенсификация обработки заключается в сокращении периода стойкости режущего инструмента до 30–45 мин, что обеспечивает повышение скорости резания на 15–20%. Но в некоторых случаях эта интенсификация ограничивается необходимостью сохранения размерной стойкости инструмента в течение длительного цикла обработки. Поэтому реальное повышение скорости резания на станках с ЧПУ составляет 10–15%.

7.3. Техническое нормирование операций

Норма времени – это регламентированное время выполнения некоторого объема работ в определенных производственных условиях одним или несколькими исполнителями соответствующей квалификации (ГОСТ 3.1109-82). В машиностроении норма времени обычно устанавливается на технологическую операцию. В условиях серийного и массового производства технические нормы устанавливаются расчетно-аналитическим путем.

Норма штучного времени на операцию состоит из следующих составляющих:

$$t_{шт} = t_0 + t_b + t_{об} + t_{пер}, \text{ мин,}$$

где t_0 – основное (машинное) время выполнения операции;

t_b – вспомогательное время на установку и снятие заготовки. Управление станком, измерение в процессе обработки;

$t_{об}$ – время технического и организационного обслуживания рабочего места;

$t_{пер}$ – время перерывов в работе на отдых и естественные потребности.

При серийном производстве при изготовлении деталей партиями норма времени на операцию рассчитывается с учетом под-

готовительно-заключительного времени $T_{пз}$ на настройку станка и подготовку операции

$$t_{шт.к.} = t_{шт} + T_{пз}/n,$$

где n – количество деталей в партии.

Норму времени рассчитывают в следующей последовательности:

- 1) на основании рассчитанных режимов работы оборудования по каждому переходу вычисляют основное (машинное) время;
- 2) по содержанию каждого перехода устанавливают комплекс приемов вспомогательных работ и определяют вспомогательное время $t_{в}$ с учетом перекрытия отдельных элементов;
- 3) устанавливают в процентах от оперативного ($t_{оп} = t_0 + t_{в}$) время технического обслуживания $t_{од}$ и время перерывов $t_{пер}$;
- 4) определяют норму штучного времени $t_{шт}$;
- 5) для серийного производства устанавливают состав подготовительно-заключительного времени, определяют $T_{пз}$ и вычисляют $t_{шт.к.}$

Основное (машинное) время обработки t_0 рассчитывают по формулам, вытекающим из кинематической схемы данного метода.

Обобщенная формула для расчета t_0 имеет вид

$$t_0 = L_u / S_m = (l_{вр} + l_p + l_{пер}) / S_0 \cdot n,$$

где L_u – путь, проходимый режущим инструментом в процессе обработки данной поверхности;

S_m – минутная подача инструмента при обработке, мм/мин;

$l_{вр}$ – путь врезания инструмента на полную глубину, мм;

l_p – длина обработки (поверхности), мм;

$l_{пер}$ – путь перебега выхода инструмента из зоны обработки, мм;

i – число проходов инструментом данной поверхности;

S_0 – подача на оборот заготовки (инструмента), мм/об;

n – число оборотов (частота вращения) заготовки (инструмента), 1/мин.

Вспомогательное время состоит из следующих элементов: время на установку и снятие детали; время на установку и снятие детали (включение и выключение рабочего хода, переключение чисел оборотов и подач, включение и выключение охлаждения); время на измерение детали (если оно не перекрывается основным) определяется по нормативам.

Время обслуживания рабочего места состоит из 2 частей:

- 1) времени на техническое обслуживание рабочего места: время смены затупившегося инструмента или правку шлифоваль-

ного круга, на подналадку станка, на удаление стружки во время работы;

2) времени на организационное обслуживание рабочего места: раскладка инструмента в начале смены, уборка его в конце смены, осмотр и опробование оборудования, уборка рабочего места в конце смены.

Принимают в процентах от оперативного времени (3–5% в зависимости от типа оборудования и условий работы).

Время перерывов на отдых и личные надобности определяют в процентах (2–3%) от оперативного времени.

8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Предметом проектирования наиболее часто являются приспособления для фрезерных станков при обработке корпусных деталей, различные кондукторы при сверлении группы связанных отверстий в корпусных деталях, втулках, рычагах, оправки при обработке деталей типа втулка.

Исходными данными для проектирования являются сведения об операции, для которой намечается приспособление: модель станка и размеры стола (суппорта, шпинделя), где будет установлено приспособление; схема базирования и зажима детали, изображаемая на технологическом эскизе; режимы резания на данной операции (наиболее интенсивные из всех переходов); в некоторых случаях сведения о размерах режущего инструмента (при проектировании кондукторов).

8.1. Последовательность проектирования приспособлений

Проектирование приспособлений рекомендуется производить в следующем порядке:

1. Установить размеры стола, размеры и количество Т-образных пазов на столе, наименьшее и наибольшее расстояние от стола до шпинделя; установить размеры посадочных поверхностей шпинделя (размеры конуса, шейки), высоту центров над станиной и суппортом, расстояние между центрами. Эти данные необходимы для определения размеров установочных элементов приспособления: размеров основания, ширины шпонок, размеры и расстояния между проушинами для болтов и т.п.

2. Уточнить способ базирования детали, намеченный в технологическом эскизе на операцию: совмещаются ли установочная и измерительная базы, нужны ли дополнительные подводимые или

регулируемые опоры, какая должна быть форма опорных поверхностей (сферическая, плоская рифленая, плоская гладкая и т.п.).

3. Приступая к проектированию на листе чертежа вычерчивают основные контуры детали в трех проекциях в том виде, в котором деталь поступает для обработки на данной операции. Масштаб изображения должен быть (по возможности) 1:1. Деталь изображают условно прозрачной тонкой красной или черной штрихпунктирной линией. Главная (фронтальная) проекция детали должна показывать положение детали на станке, видимое со стороны рабочего станочника. Проекция располагают на достаточном расстоянии друг от друга, достаточном для вычерчивания вокруг них всех элементов приспособления. На поверхностях, подлежащих обработке, указывают припуск или их выделяют любым образом.

4. Уточняют направление действия сил резания, места приложения и направления усилий зажима.

5. Вычерчивают установочные элементы приспособления (опоры, призмы, пальцы и т.п.). Опоры располагают по контуру установочной поверхности детали с наибольшим расстоянием между ними, чтобы обеспечивать устойчивое положение детали. Действующие силы резания и усилия зажима по возможности должны быть направлены к опорам, не вызывать деформаций детали.

6. Вычерчивают элементы зажимного устройства, обращая особое внимание на форму поверхностей, контактирующих с зажимаемой заготовкой. Они должны иметь возможность самоустанавливаться при зажиме, поверхность делается рифленой при контакте с черновыми поверхностями детали, либо иметь защитные прокладки при контакте с чисто обработанными поверхностями. При откреплении детали зажимные элементы должны отодвигаться от детали на достаточное расстояние, чтобы не препятствовать ее извлечению из приспособления. На чертеже деталь изображают в зажатом положении, положение зажимных элементов при откреплении детали показывают контурной штрихпунктирной линией.

7. При необходимости далее вычерчивают направляющие элементы приспособления, определяющие положение режущего инструмента (кондукторные втулки, габаритные установки для выверки положения фрез и пр.).

8. Вычерчивают вспомогательные детали и механизмы приспособления (подводимые опоры, стойки, кронштейны для крепления зажимных и направляющих элементов).

9. Объединяют все элементы приспособления корпусом с использованием типовых форм. Чаще всего корпус делают литым либо коробчатой формы с ребрами жесткости. Все поверхности для крепления установочных, зажимных и вспомогательных элементов

приподнимают в виде платиков над общей поверхностью корпуса. Корпус должен иметь направляющие (базирующие) элементы для точной установки приспособления на станке (направляющие шпонки, пальцы); проушины для крепления приспособления Т-образными болтами; массивные приспособления должны иметь рым-болты для строповки при установке приспособления на станке.

10. Окончательно оформляют все проекции приспособления, вычерчивают дополнительные частные виды, разрезы, сечения так, чтобы по этому чертежу можно было выполнить детализовку.

11. Наносят габаритные размеры приспособления с учетом выдвигаемых или откидывающихся элементов, показывают размеры присоединительных поверхностей (размеры проушин, диаметр и длина посадочной шейки), проставляют размеры сопряжения деталей с указанием посадок (в подвижных соединениях, в местах запрессовки, в ходовых резьбовых соединениях и т.п.).

12. Составляют спецификацию приспособления в соответствии с ГОСТ 2.108-68. На поле чертежа приводят техническую характеристику приспособления (диапазон размеров устанавливаемых деталей, диапазон обрабатываемых поверхностей, усилие зажима, рабочее давление в пневмоцилиндре и т.п.) и технические условия на изготовление, сборку, регулировку и прием приспособления (термообработку, покрытие поверхностей, пригонку деталей при сборке, регулировку хода зажимных устройств, окраску приспособления). В технических условиях указывают требования по точности расположения элементов приспособления (параллельность, перпендикулярность установочных элементов приспособления установочным и направляющим элементам корпуса приспособления).

8.2. Расчет усилия зажима

Расчет усилия зажима деталей в приспособлении начинают с анализа схемы установки детали и схемы действующих сил. Для этого схематически изображают деталь в одной, двух проекциях, условными знаками изображают опоры приспособления и точки приложения зажимных усилий; изображают контур режущего инструмента и составляющие сил резания (P_x , P_y , P_z), которые попадают в плоскость принятой проекции; отображают силы массы детали, приложенные в центре тяжести детали. Режущий инструмент рассматривают в положении наиболее неблагоприятном для удержания детали (в наибольшем удалении от опор). Затем на схему наносят реакции опор от действующих сил зажима, сил резания и

массы детали, а так же силы трения, возникающие в опорах при попытке сдвинуть деталь с опор силами резания.

Расчет силы зажима сводят к решению задачи статики на равновесие заготовки, находящейся под действием приложенных к ней внешних сил, а также моментов, возникающих в результате действия этих сил.

Величину сил резания и их моментов определяют из условий обработки по формулам теории резания металлов или по таблицам из нормативных справочников. Эти значения рекомендуется увеличить на коэффициент запаса $K=1,2-1,3$ с целью учета колебания условий обработки: износ режущего инструмента, колебание величины припуска, неодинаковость установки и закрепления заготовки.

Коэффициент трения при расчетах силы зажима принимают в следующих пределах: 0,1–0,15 при контакте обработанных поверхностей детали и установочных пластин; 0,2–0,3 при контакте необработанных поверхностей детали со штырями со сферической головкой; 0,5–0,7 при контакте обработанных поверхностей детали с рифлеными установочными поверхностями (опоры, губки, кулачки).

При определении величины силы зажима для приспособлений, где применяют передаточные механизмы (рычаги, клинья и т.п.), необходимо учитывать передаточные отношения этих механизмов. Значение зажимной силы будет зависеть от величины исходной силы F , развиваемой приводом, и передаточного отношения между исходной силой F и силой Q , требуемого усилия зажима.

$$Q = F \cdot i,$$

где i – передаточное отношение механизма.

8.3. Расчет допустимой погрешности изготовления приспособления

Наряду со многими факторами на точность обработки деталей существенное влияние оказывает погрешность изготовления приспособления. Рассмотрим методику расчета допускаемой погрешности изготовления приспособления.

Будем исходить из того положения, что суммарная погрешность обработки, складывающаяся из погрешностей, вносимых приспособлением, и погрешностей способа обработки, не должна быть больше допуска на соответствующий заданный размер заготовки:

$$T \geq \Delta T_{\text{пр}} + \Delta T_{\text{об}},$$

где $\Delta T_{\text{пр}}$ – суммарная погрешность, вносимая приспособлением;

$\Delta T_{\text{об}}$ – суммарная погрешность способа обработки, включающая погрешности упругих деформаций системы СПИД, размерного износа инструмента, погрешности настройки станка, температурных деформаций и т.п.;

T – допуск на размер, выполняемый на данной операции.

Методика расчета $\Delta T_{\text{об}}$ излагается в ряде работ [3, 5]. Так как аналитический расчет $\Delta T_{\text{об}}$ достаточно сложен и громоздок, то величину этой погрешности чаще всего оценивают, приравнивая ее части средней экономической точности обработки, которая определяется по справочным таблицам [3, 5]. Тогда получаем

$$\Delta T_{\text{об}} = k \cdot \Delta,$$

где k – коэффициент, равный 0,6-0,8; Δ – экономическая точность обработки, мм.

Погрешность, вносимую приспособлением, рассмотрим как состоящую из следующих элементарных погрешностей:

$$\Delta T_{\text{пр}} = \Delta_{\text{б}} + \Delta_{\text{з}} + \Delta_{\text{у}} + \Delta_{\text{и}} + \Delta_{\text{н}},$$

где $\Delta_{\text{б}}$ – погрешность базирования заготовки в приспособлении;

$\Delta_{\text{з}}$ – погрешность закрепления, возникающая вследствие деформаций заготовки и элементов приспособления от сил зажима;

$\Delta_{\text{у}}$ – погрешность установки приспособления на станке;

$\Delta_{\text{и}}$ – погрешность изготовления элементов приспособления;

$\Delta_{\text{н}}$ – погрешность настройки (направления) режущего инструмента относительно направляющих элементов приспособления.

Погрешность базирования возникает при несовпадении установочной и измерительной баз и её рассчитывают по формулам, выведенным для разных схем базирования [5]. Однако при учете этой погрешности на настроенных станках можно принимать только часть этой погрешности. Это объясняется тем, что при определении погрешности базирования берутся полное поле допуска, разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами. Вероятность же появления деталей с такими размерами незначительна. Полагая, что характер распределения размеров обрабатываемых деталей близок к нормальному, для учета погрешности базирования можно принимать коэффициент $k=0,8-0,85$. При этом величина риска получить брак будет 1–1,3%.

Погрешность закрепления $\Delta_{\text{з}}$ вычисляется исходя из картины возможных деформаций детали при принятой схеме действия сил

зажима. Основную величину здесь составляют контактные деформации в месте стыков: поверхность детали – поверхность опор.

Погрешность установки приспособления Δ_y возникает в результате наличия зазоров между направляющими шпонками приспособлений и Т-образными пазами для фрезерных расточных и подобных приспособлений. Расчет проводят построением геометрической схемы возможного смещения приспособления.

Погрешность изготовления приспособления Δ_i является основной величиной. Она определяет величину допуска, проставляемого после расчета на чертеже приспособления (допуск на межцентровые расстояния кондукторных втулок, допуск на отклонения от параллельности оси призмы основанию приспособления, допуск на размеры габаритного станка для фрезы и т.п.).

Погрешность настройки Δ_n возникает из-за неточности изготовления направляющих элементов приспособления. Расчет проводят из геометрических построений. При отсутствии направляющих элементов эта погрешность не возникает.

После расчета суммарной погрешности изготовления приспособления необходимо продумать метод достижения этой точности, например, регулировку элементов приспособления. Но так как станочные специальные приспособления изготавливают в индивидуальном порядке, то основным методом достижения их точности является метод пригонки, т.е. обработка деталей «по месту».

9. ТЕРМИЧЕСКАЯ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

9.1. Термическая обработка

Термической обработкой стали называется процесс преобразования металла для изменения его структуры, механических и физических свойств. Различают термическую (закалка, нормализация, отжиг, отпуск) и химико-термическую (цементация, азотирование, цианирование и др.) обработку. Свойства стали определяются структурой, которая зависит от температуры нагрева и охлаждения.

Основным назначением термической обработки является изменение механических свойств деталей машин и инструментов в отношении прочности, твердости, износостойкости и обрабатываемости.

Технологический процесс термической обработки определяется температурой нагрева стали, выдержкой при этой температуре и скоростью охлаждения до комнатной температуры.

Температуру нагрева стали определяют по диаграмме состояния железо–углерод. После нагрева и выдержки сталь подго-

товлена к охлаждению, так как в сплаве произошли структурные преобразования, и в зависимости от скорости охлаждения можно осуществлять тот или иной вид термической обработки.

При медленном охлаждении детали вместе с печью или в горячей золе происходит *отжиг*, т.е. деталь становится мягкой, пластичной, но невысокой прочности (ее легко можно обрабатывать резанием). Отжиг производят для устранения внутренних напряжений, возникающих при обработке прокатыванием, ковкой и литьем и изменения каких-либо других свойств.

Более быстрым видом обработки является *нормализация*, которую применяют с той же целью, что и отжиг. Технологический процесс нормализации отличается от отжига тем, что охлаждение после нагрева производят на воздухе в закрытом помещении.

Увеличивая скорость охлаждения нагретой стальной заготовки, добиваются *закалки*. В практике термической обработки стали применяют закалку в одном охладителе, прерывистую, ступенчатую, с самоотпуском и др.

Сущность *отпуска* заключается в том, что закаленные стальные детали нагревают до температуры ниже границы структурных превращений (727°C), выдерживают некоторое время и затем охлаждают с произвольной скоростью. В зависимости от температуры и образовавшейся структуры металла, различают низкий, средний и высокий отпуск.

Низкий отпуск осуществляют нагревом детали до $120\text{--}250^{\circ}\text{C}$ и охлаждением с любой скоростью. Этот вид отпуска применяют при изготовлении режущего и измерительного инструмента.

Средний отпуск осуществляют нагревом до $350\text{--}450^{\circ}\text{C}$, когда мартенсит превращается в троостит. Средний отпуск применяют, например, при изготовлении пружин, рессор, пил, кос и т.д.

Высокий отпуск осуществляют нагревом детали до $500\text{--}650^{\circ}\text{C}$, когда мартенсит превращается в сорбит отпуска, при этом получают однородную структуру. Высокий отпуск применяют при изготовлении деталей из конструкционных сталей, чтобы они обладали хорошими механическими свойствами: прочностью, пластичностью, ударной вязкостью и т.д.

Термическую обработку, состоящую из процессов закалки и высокого отпуска, называют *улучшением*.

Поверхностная закалка. Многие детали в процессе работы подвергаются повышенному трению и одновременно ударным нагрузкам. При этих условиях работы необходимо, чтобы поверхностный слой у детали был высокой твердости и износостойкости, сердцевина мягкой и вязкой, обеспечивающей сопротивление удару. Такое переменное значение механических свойств по сечению

можно получить путем поверхностного упрочнения деталей и поверхностной закалкой детали на глубину 0,1–2 мм.

Сущность поверхностной закалки заключается в нагреве верхних слоев детали до температуры закалки с последующим быстрым охлаждением. Вследствие такой обработки получают твердую поверхность детали с вязкой сердцевиной. Поверхность детали под закалку нагревают в газовом пламени токами высокой частоты (индукционный нагрев) и электродноконтактным методом.

9.2. Химико-термическая обработка стали

Химико-термическую обработку стали применяют в тех случаях, когда необходимо получить более твердую, износостойкую или красностойкую деталь с улучшенными механическими свойствами поверхностного слоя.

Упрочнение поверхностного слоя детали достигается в процессе химико-термической обработки в результате изменения химического состава – насыщения поверхности нагретой стальной детали углеродом, азотом, алюминием, хромом и другими элементами. Различают такие виды химико-термической обработки, как цементация, азотирование, цианирование и диффузионная металлизация (алитирование, сульфидирование и др.).

Цементация – процесс насыщения углеродом поверхностного слоя малоуглеродистой стали. Обычно цементируют детали, работающие на истирание в условиях ударных нагрузок, например, валы, зубчатые колеса, шейки коленчатых валов, поршневые пальцы и т.д.

Азотирование – процесс насыщения поверхности детали азотом. В качестве нитрирующей среды используют аммиак NH_3 , в атмосфере которого сталь выдерживают при температуре 480–760°C в течение 20–90 ч. Азотирование сильно повышает твердость, не уменьшающуюся даже при нагреве до 600–650°C, износостойкость, предел усталости и коррозионную стойкость к действию воздуха, воды, пара и т.д. Азотируют, как правило, углеродистые стали, легированные алюминием, хромом, молибденом, ванадием и другими элементами, а также чугун.

10. РАСЧЕТ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Проектирование технологических процессов является не только технической задачей. Все элементы технологического процесса: припуски, оборудование, технологическая оснастка, режимы резания – определяют экономическую эффективность производства. Являясь многовариантной задачей, технологическое проекти-

рование предполагает большое число равнозначных технических решений: для получения заданного качества обработки можно предлагать разные методы обработки, разные станки, разные инструменты. А окончательное решение в пользу того или иного технического варианта может быть сделано только на основе оценки его экономической эффективности. Выбор варианта получения заготовки, обоснование выбора той или иной модели станка, целесообразность применения более или менее сложного приспособления и т.п. Наконец, необходимо уметь определять главный показатель эффективности разработанной технологии изготовления детали – технологическую себестоимость процесса изготовления.

В рамках данного пособия данные расчеты не рассматриваются.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение отметим, что повышение производительности и качества изготовления деталей машин в условиях единичного производства неразрывно связано с правильным построением технологических процессов в условиях реального производства с большим количеством ограничивающих факторов, как правило – отсутствием требуемого оборудования, инструмента, приспособлений и персонала требуемого уровня знаний и умений. В большинстве случаев они приводят к повышению длительности производственного цикла изготовления деталей, снижению их качества и повышению количества несоответствующей продукции.

Данное пособие предназначено для оказания помощи студентам по изучению большинства аспектов дисциплин «Технологические процессы в машиностроении» и «Технология машиностроения». Оно также дает необходимые сопутствующие знания и информацию, позволяющие разрабатывать технологии изготовления деталей в кратчайшие сроки.

Библиографический список

1. Марочник сталей и сплавов / под. ред. А.С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2001.
2. Данилевский В.В. Технология машиностроения. – М.: Высшая школа, 1977. – 478 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. / под ред. А.Г. Косиловой, М.Г. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 2001. – Т. 1. – 912 с.; Т. 2. 944 с.
4. Проектирование технологической оснастки машиностроительного производства: учеб. пособие / Г.Н. Андреев, В.Ю. Новиков, А.Г. Схиртладзе; под ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Высшая школа, 1999.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Качество поверхности и погрешность формы
основных видов заготовок

Вид заготовки (метод получения)	Высота не- ровностей Rz, мкм	Дефектный слой h, мкм	Удельная погрешность формы, мкм/мм
Прокат горяче- катаный: - обычной точ- ности (D=25–250) - повышенной точности (D=25–250)	125–320	150–400	0.5–2.5
	80–250	100–300	0.2–1.0
Литье: - в земляные формы (машинной формовки) - чугунные от- ливки (5–500 кг) - стальные от- ливки (1–300 кг)	Rz + h		1–5
	600–1000		
	500–800		0.8–4
	200		0.5–3
Ковка на молотах (1–1000 кг) в подкладных штампах (1–300 кг)	Rz + h		1.0–5.0
	1000–3000		
	750–1500		0.6–3.0
Штамповка в закрытых штампах (0.5–2000 кг)	80–400	150–.400	0.3–1.5

Приложение 2

Качество поверхности после механической обработки

Вид поверхности и метод обработки	Высота неровностей Rz, мкм	Дефектный слой h, мкм
Наружные поверхности вращения: - обтачивание черновое (однократное) - чистовое - тонкое - шлифование черновое (однократное) - чистовое - тонкое	60–100 20–30 6 10 6 3	60–100 30 3 20 12 2–6
Обработка торцов: - подрезание черновое - чистовое - шлифование (однократное)	50 30 5–10	50 30 5
Обработка отверстий: - сверление (D=3–50) - зенкерование - растачивание: - черновое - чистовое - тонкое (алмазное) - развертывание - шлифование: - предварительное - окончательное	50 20–40 20–50 20 10 4 0.6	40–70 20–30 40 30 10 1–5 6
Обработка плоскостей: - фрезерование, строгание: - черновое - получистовое - чистовое - тонкое - шлифование: - черновое - чистовое	100 25 10 10 20 5–10 2–5	30 50 25 5 20 30 5–10

Приложение 3

Погрешность установки заготовок

Метод получения заготовки	Погрешность (мкм) при диаметре базовой поверхности, мм				
	10-30	30-80	80-180	180-315	315-500
Установка в трехлачковом патроне (в верху для радиальных размеров, внизу для осевых)					
Горячекатаный прокат	300	400	550	-	-
	85	100	120	-	-
Литье	200	300	400	550	650
	80	100	120	140	150
Горячая штамповка	300	400	460	650	800
	85	100	110	130	150
После черновой обработки	65	90	130	170	200
	65	85	100	120	140
После чистовой обработки	35	45	65	85	100
	50	65	85	100	120
Установка заготовки на постоянные опоры					
Литье в песчаную форму В постоянную форму (кокиль)	90	110	130	160	220
	60	70	90	110	140
Горячая штамповка	90	110	140	160	190
Горячекатаный прокат	90	110	140	-	-
После черновой обработки	50	60	80	100	120
После чистовой обработки	35	50	70	90	110
После шлифования	25	40	60	80	100

Приложение 4

Экономическая точность обработки основных методов

Метод обработки	Квалитет раз- мера	Шероховатость Ra, мкм
Строгание, долбление плоских поверхностей: - предварительное - чистовое - отделочное	11–13 9–11 6–9	12.5–25 2.5–6.3 0.6–1.3
Обтачивание: - предварительное -получистовое или однократное - чистовое - тонкое	12–14 11–13 8–10 6–9	25–50 6.3–25 2.5–12.5 0.63–1.25
Растачивание отверстий: - предварительное - чистовое - тонкое	11..13 8–10 5–7	12.5–25 2.5–6.3 0.32–1.25
Сверление отверстий	11–13	12.5–25
Рассверливание отверстий	10–12	6.3–12.5
Зенкерование отверстий	9.12	12.5–25
Развертывание отверстий: - нормальное - точное - тонкое	8–9 7–8 5–6	2.5–5 1.25–2.5 0.63–1.25
Фрезерование плоскостей: - предварительное - чистовое - тонкое	11–13 9–11 7–9	12.5–25 1.25–6.3 0.63–1.25
Протягивание отверстий: - предварительное - чистовое	10–11 7–9	1.25–3.2 0.32–1.3
Шлифование круглое наружное с продольной подачей: - предварительное - чистовое - тонкое	8–9 6–7 5–6	2.5–6.3 0.2–1.2 0.05–0.3
Шлифование плоское перифе- рией круга: - предварительное - чистовое	8–10 6–7	1.6–6.3 0.32–1.6

Приложение 5

Рекомендации по применению инструментального материала

Марка материала	Область применения
Углеродистые и легированные инструментальные стали	
У10, У10А	Мелкогабаритный режущий инструмент, зубила
11Х, 11ХФ	Метчики
ХВСГ	Круглые плашки, развертки
Быстрорежущие стали	
P6M5	Для видов режущего инструмента при обработке углеродистых и легированных конструкционных сталей, предпочтительно для резьбонарезного инструмента.
P6M5K5	Для черновых и получистовых инструментов при обработке легированных и коррозионно-стойких сталей.
P6M5Ф3	Для чистовых и получистовых инструментов (фасонные резцы, развертки, протяжки, фрезы) при обработке углеродистых и легированных конструкционных сталей
P9M4K8	Для различных инструментов при обработке высокопрочных, жаропрочных и коррозионно-стойких сталей и сплавов
Инструментальные твердые сплавы	
BK3	Чистовая и окончательная обработка (точение, нарезание резьбы, размерная обработка отверстий) серого чугуна, цветных металлов и сплавов и неметаллических материалов.
BK4 BK6	Черновая и получистовая обработка (точение, фрезерование, рассверливание, зенкерование) серого чугуна, цветных металлов и их сплавов.
BK6-OM	Чистовая и получистовая обработка твердых, отбеленных и легированных чугунов, закаленных сталей, высокопрочных и жаропрочных сталей и сплавов на основе титана, вольфрама и молибдена (точение, растачивание, нарезание резьбы, развертывание).

Продолжение прил.5

Марка материала	Область применения
T30K4	Чистовая обработка незакаленных сталей и закаленных углеродистых сталей (точение, нарезание резьбы, развертывание).
T15K6	Получистовое точение (непрерывное резание), чистовое точение (возможно прерывистое резание), нарезание резьбы резцами и вращающимися головками, получистовое и чистовое фрезерование, растачивание, развертывание при обработке углеродистых и легированных сталей.
T5K10	Черновое точение и фрезерование при неравномерном сечении и прерывистом резании, фасонное точение, отрезка резцами при обработке углеродистых и легированных сталей преимущественно в виде поковок, штамповок и отливок по корке и окалине.
ТТК12	Тяжелое черновое точение при неравномерном сечении стальных поковок, штамповок и отливок по корке, с раковинами при наличии песка, шлака и др.; при обработке углеродистых и легированных сталей.
Безвольфрамовые инструментальные твердые сплавы	
ТН-20 КТН-16 КТН-20 КТН-30	Получистовое и чистовое точение и фрезерование углеродистых и легированных сталей с HRC 30-42, хромистых и коррозионно-стойких сталей с $\sigma_B=600-800$ МПа, жаропрочных сталей с $\sigma_B=600-800$ МПа.
Минералокерамические инструментальные материалы	
ВО13 ВО18	Чистовое и получистовое точение нетермообработанных конструкционных сталей и чугунов.
ВОК71 ВОК95 ОНТ-20	Чистовое, получистовое и предварительное точение нетермообработанных и закаленных сталей и чугунов.

Марка материала	Область применения
Сверхтвердые инструментальные материалы	
Композиты 01 и 02	Тонкое и чистовое точение без ударных нагрузок, торцовое фрезерование деталей из закаленных сталей твердостью HRC 47-65, чугунов любой твердости.
Композиты 05 и 06	Чистовое и получистовое точение без ударных нагрузок закаленных сталей HRC 45-62 и чугунов любой твердости, торцовое фрезерование чугунов.
Композиты 10 и 10Д	Тонкое, чистовое и получистовое с ударом и без удара, торцовое фрезерование закаленных сталей и чугунов любой твердости.

Приложение 6

Типовые режимы точения

Вид обработки	Параметры режима	Способ обработки		
		Продольное обтачивание	Продольное расточивание	Фасонное поперечное точение
Предварительная и однократная	t, мм	2-8	2-6	-
	S, мм/об	0,5-1,2	0,2-0,8	0,03-0,09
	V, м/мин	150	150	50
Чистовая: Ra=6.3 мкм Ra=2.5 мкм	T	0,1-2	0,1-1,6	-
	S	0.1-0.6	0.08-0.4	-
	V	190	190	-
Тонкая	T	0,03-01	0,03-0,05	-
	S	0.08-0.12	0.08-0.12	-
	V ₁	150-250	120-200	-

Примечание. Скорость резания при материале режущей части круга V₁ – для Т30К4.

Приложение 7

Средние параметры режима сверления стали

Способ обработки	Параметры			Материал режущей части
	t, мм	S, мм/об	V, м/мин	
Сверление спиральными сверлами	0,5d	0.012d 0.085d	18-30 40-80	Сталь Р6М5 Сплав Т15К6
Глубокое сплошное сверление	0.5d	0.0025d	120-160	Сплав Т15К6
Глубокое сверление	0.15d	0.0025d	160-200	Сплав Т15К6

Примечание. d – диаметр сверла или отверстия, мм.

Приложение 8

Типовые параметры режима фрезерования (стали)

Вид обработки	Параметры инструмента и режима фрезерования	Тип фрезы				Примечание
		Торцевая	Цилиндрическая	Дисковая	Концевая	
Предварительная	D, мм	160-250	80-160	150-250	20-40	Режущая часть фрезы Т15К6
	Z	8-20	10-16	12-16	4	
	t, мм	4-20	2-10	20-50	3-10	
	S _z , мм/зуб	1-1,5	0.7-1,2	0,5-0,7	0,3-0,5	
	V, м/мин	250	150	200	150	
Чистовая	t	1-2	1-1,5	-	0,7-1,5	Ra, мкм 2,5 1,25 0,63
	S ₀ , мм/об	0,4-0,6	0,2-0,3	-	0,1-0,3	
		0,2-0,3	0,1-0,2	-	0,07-	
		0,15	0,06	-	0,15	
	V, м/мин	300	250	-	0,05 200	

Примечание. D – диаметр, Z – число зубьев инструмента, S_z – подача на зуб.

Приложение 9

Средние режимы зенкерования и развертывания

Способ обработки	Параметры режима			Материал режущей части инструмента
	t, мм	S, мм/об	V, м/мин	
Зенкерование D=20-120	1-3	0.025d	15-25 40-75	P6M5 T15K6
Развертывание D=20-120	0.05-02	0.06d 0.02d	5-10 20-50	P6M5 T15K6

Приложение 10

Параметры режима шлифования

Вид шлифования	Параметры режима		
	S _{пп} , мм/об	S _{пр} , мм/ход	V, м/мин
Круглое наружное с продольной подачей: - предварительное - чистовое - тонкое	0,01-0,025 0,005-0,015 0,002-0,005	(0,3-0,7)H (0,2-0,4)H (0,1-0,2)H	12-25 15-55 10-20
Круглое наружное с врезной (радиальной) подачей: - предварительное - чистовое - тонкое	0,0025-0,008 0,001-0,005 0,0002-0,0006	- - -	30-50 20-40 15-30
Круглое внутреннее с продольной подачей: - предварительное - чистовое - тонкое	0,005-0,02 0,0025-0,01 0,001-0,003	(0,4-0,7)H (0,25-0,4)H (0,1-0,2)H	20-40
Плоское периферией круга: - предварительное - чистовое	0,015-0,04 0,005-0,015	(0,4-0,7)H (0,2-0,3)H	8-30 15-20

Примечание: шлифование сталей при скорости круга 30-35 м/с.

Приложение 11

Назначение периода стойкости T_m

№ п/п	Группа наладки	Характеристика	Рекомендуемое значение T_m при числе инструментов в наладке							
			1	3	5	8	10	15	20	св.20
1	Равномерная нагрузка инструментов	Диаметры обтачиваемых поверхностей различаются не более чем в 1,2 раза, количество фасонных резцов не более 20%	50	100	150	200	250	300	-	-
2	Средние наладки по равномерности загрузки инструментов	Все наладки, не относящиеся к 1 и 3 группам	-	90	130	180	220	250	300	350
3	Наладки с большой разницей в загрузке инструментов	Диаметры обтачиваемых поверхностей различаются более чем в 2 раза, количество фасонных резцов более 50%	-	70	90	110	130	150	170	180