



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Мехатроника и робототехника»

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

к проведению практических занятий
по дисциплине

«ПП мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств»

Авторы
Тугенгольд А.К.,
Череватенко В.А.

Ростов-на-Дону, 2015



Аннотация

В данном пособии даны методические рекомендации по выбору параметров технологических переходов, основного оборудования, последовательности проектирования элементов механической системы РТК графическому построению траектории движения инструмента, составлению управляющей программы.

Методические рекомендации предназначены для студентов направления 15.03.06 «Мехатроника и робототехника»

Авторы

д.т.н., профессор кафедры «Мехатроника и робототехника» Тугенгольд А.К
доцент кафедры «Мехатроника и робототехника» Череватенко В.А



Оглавление

Технологические задачи.....	5
1.1 Определение типа производства	6
1.2 Определение состава группы деталей для разработки группового техпроцесса	7
1.3 Служебное назначение детали	9
1.4 Анализ конструктивных и технологических особенностей детали	9
1.5 Характеристика заготовки и метод её получения	10
1.6 Выбор технологических баз	11
1.7 Проектирование планов обработки поверхностей	13
1.8 Предварительное формирование установов и технологических операций.....	15
1.9 Определение необходимого комплекта инструментов для обработки деталей	15
1.10 Выбор технологического оборудования, его техническая характеристика	16
1.11 Выбор технологической оснастки.....	17
1.12 Окончательное формирование операций механической обработки.....	17
1.13 Технологические переходы на механическую обработку	18
1.14 Расчет режимов резания, времени обработки для станков с ЧПУ	21
2 Проектно – конструкторские задачи.....	26
2.1 ОПРЕДЕЛИТЬ направления роботизации и автоматизации	

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудо-
дование роботизированных производств.

производства.....	26
2.2 Провести поиск рационального технического решения роботизированной системы	26
2.3 Произвести выбор вспомогательного оборудования	28
2.4 Проектирование элементов механической системы роботизированного комплекса	29
2.4.1 Общие приемы конструирования основного технологического оборудования	29
2.4.2 Кинематический расчет комбинированного привода главного движения станков с регулируемым электродвигателем	30
2.4.3 Передаточные отношения передач	36
2.4.4 Построение графика частот вращения.	37
2.5 Пример кинематического расчета	37
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	41
ПРИЛОЖЕНИЕ А	43
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	60

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

Целью практических занятий является освоение студентами методики и правил проектирования технологических операций, анализа и выбора основного и вспомогательного оборудования, основных принципов проектирования элементов механической системы роботизированных комплексов, приобретение навыков подготовки управляющей программы для станков с ЧПУ.

Практические занятия включают в себя решения ряда технологических и проектно – конструкторских задач.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ

На этом этапе студентам надо выполнить ряд заданий, необходимых для составления технологического процесса обработки комплексной детали на РТК (Приложение А)

Для разработки технологического процесса следует последовательно решить следующие задачи:

- 1.1 Определить тип производства.
- 1.2 Определить состав группы деталей для разработки группового техпроцесса.
- 1.3 Определить служебное назначение детали.
- 1.4 Провести анализ конструкторских и технологических особенностей детали.
- 1.5 Выбрать заготовку и метод её получения.
- 1.6 Провести выбор технологических баз.
- 1.7 Спроектировать планы обработки поверхностей.
- 1.8 Провести предварительное формирование установов и технологических операций.
- 1.9 Определить необходимый комплект инструментов для обработки детали.
- 1.10 Выбрать технологическое оборудование, дать его техническую характеристику.
- 1.11 Выбрать технологическую оснастку.
- 1.12 Сформировать план операции механической обработки комплексной детали на РТК.
- 1.13 Привести эскизы технологических наладок обработки комплексной детали.
- 1.14 Разработать управляющую программу для обработки комплексной детали на станке с ЧПУ.

В качестве примера представлен техпроцесс обработки комплексной детали «Крышка», представленной на рис.1.1.

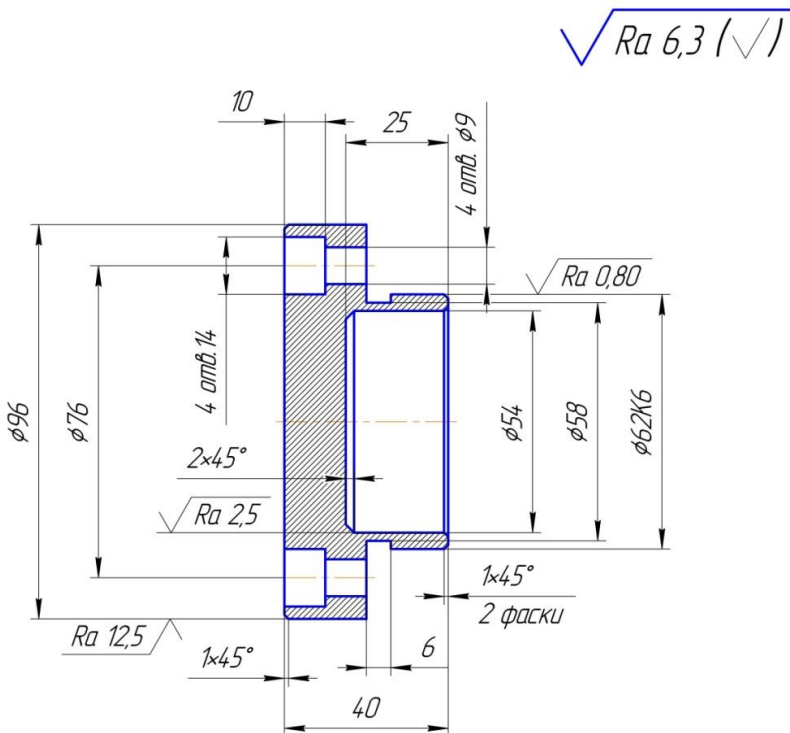


Рисунок 1.1 – Комплексная деталь

Пример выполнения последовательности технологических задач:

1.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА ПРОИЗВОДСТВА

По заданию преподавателя принимаем, например, серийный тип производства. Обработка будет осуществляться на станках с ЧПУ. Для использования станков ЧПУ в серийном производ-

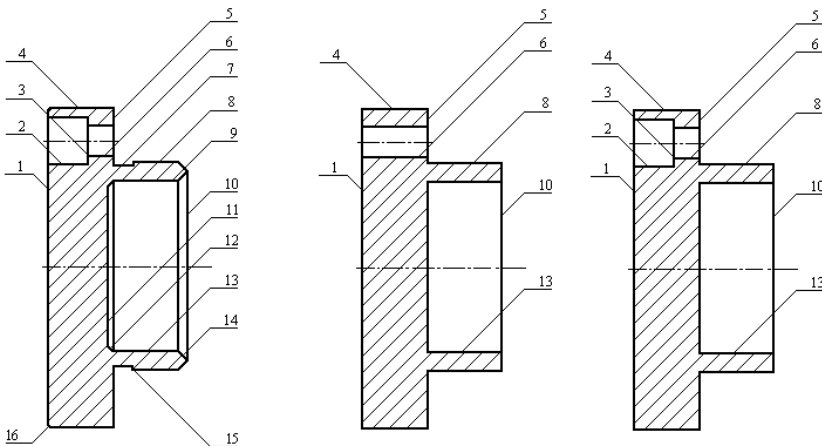
ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

стве обработку надо производить по групповому технологическому процессу.

1.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ГРУППЫ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ГРУППОВОГО ТЕХПРОЦЕССА

Деталь, чертеж которой представлен на рис.1.1, считается комплексной для группы деталей, то есть она состоит из всех поверхностей, которые имеют детали, входящие в данную группу. Технологический процесс изготовления этой детали является комплексным групповым технологическим процессом.

Эскизы деталей, входящих в данную группу деталей, представлены на рис.1.2



Комплексная

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

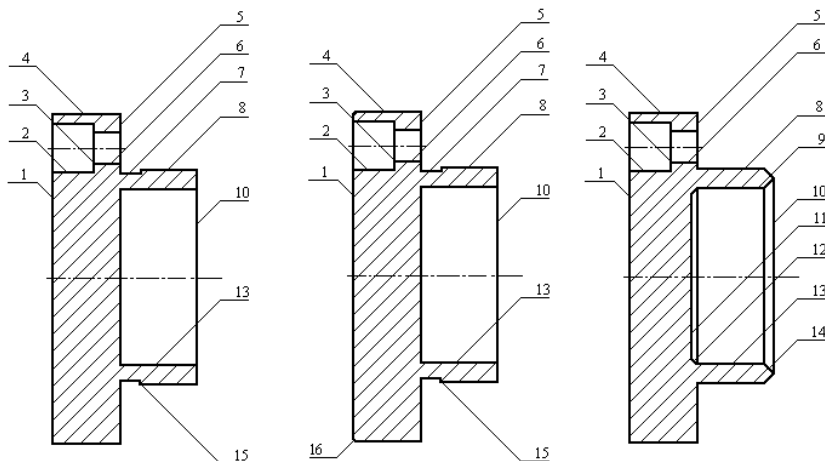


Рисунок 1.2 – Эскизы деталей

Для наглядности представим все обрабатываемые поверхности деталей группы в виде таблицы 1.1.

Номера поверхностей																
№ Дет.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	+			+	+	+		+		+			+			
2	+	+	+	+	+	+		+		+			+			
3	+	+	+	+	+	+	+	+		+			+		+	
4	+	+	+	+	+	+	+	+		+			+		+	+
5	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+		
К	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Из таблицы видно, что, имея техпроцесс обработки комплексной детали, можно изготовить любую деталь из группы, пропуская отдельные технологические переходы

Технологический переход – законченная часть операции, выполненная одними средствами технологического оснащения (режущий инструмент) при постоянных (или автоматически изменяющихся) режимах и неизменной установке заготовки. Технологический переход связан с получением каждой поверхности.

1.3 СЛУЖЕБНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ ДЕТАЛИ

Перед началом разработки технологического процесса технологу необходимо детально изучить и понять служебное назначение изделия, намечаемого к изготовлению. Понимание служебного назначения детали необходимо для определения соответствия ему конструкции, материала и заданных технических требований на деталь.

Служебное назначение нашей детали - предотвращение осевого перемещения подшипника, установленного на цапфе вала коробки передач. Деталь имеет 4 отверстия, необходимые для крепления её к корпусу коробки.

В процессе работы деталь «Крышка» воспринимает осевые динамические нагрузки. Деталь предназначена для работы в среде смазочных материалов.

1.4 АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ДЕТАЛИ

Конструктивно-технологические требования, предъявляемые к деталям коробок передач, включают требования по массе, габаритным размерам, форме и т. д. Существенным здесь также является обеспечение надежности крепления крышки к корпусу.

Данная деталь имеет массу 540 гр. и габаритные размеры: наибольший диаметр $d = 96$ мм, ширину $l = 40$ мм, является деталью тела вращения, представляет собой крышку, выполненную из материала марки Сталь 45 (ГОСТ 1050-2013), твердость 200-220 НВ, химический состав представлен в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Химический состав стали 45

C	Ji	Mn	S(max)	P(max)	Cr	Ni
0,40-0,50	0,17-0,37	0,50-0,80	0,045	0,015	0,30	0,30

Данный материал обладает хорошей ковкостью и достаточно высокой твердостью.

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

Технологическими особенностями детали являются:

- 1 симметричной формой;
- 2 наличие канавки;
- 3 поверхность № 8 с наибольшим качеством – 7 и наименьшей шероховатостью - $Ra=0,8$

Деталь достаточно технологична.

1.5 ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАГОТОВКИ И МЕТОД ЕЁ ПОЛУЧЕНИЯ

Заготовка – предмет производства, из которого путем изменения размеров, формы, качества поверхности получается готовая деталь. От правильного выбора заготовки в значительной мере зависят общая трудоемкость и себестоимость изготовления детали.

На выбор метода получения заготовки оказывают влияние следующие факторы:

- 1 служебное назначение детали и технические требования на её изготовление;
- 2 конфигурация и размеры детали;
- 3 тип производства.

Важной задачей технологии является получение заготовок, максимально приближавшихся по форме и размерам к готовым деталям. Заготовки, получаемые методами пластической деформации, имеют минимальные припуски на механическую обработку. Структура металлической заготовки и ее механические свойства после пластической деформации улучшаются.

Учитывая всё это, выбираем метод получения заготовки – горячая штамповка. В штампованной заготовке структура металла более однородна. Поверхностный слой у штамповок обезуглероживается, и при обработке его необходимо удалить. Толщина этого слоя бывает различная от 0.5 до 1 мм. Для токарной черновой операции (первый этап) за один проход снимаем 4мм, для получистой обработки (второй этап) назначаем, снимаемый слой, 1 мм, для чистовой обработки назначаем, снимаемый слой 0.5 мм. Штамповочные уклоны составляют 2-3%, а радиусы до 3 мм (рис.1.3).

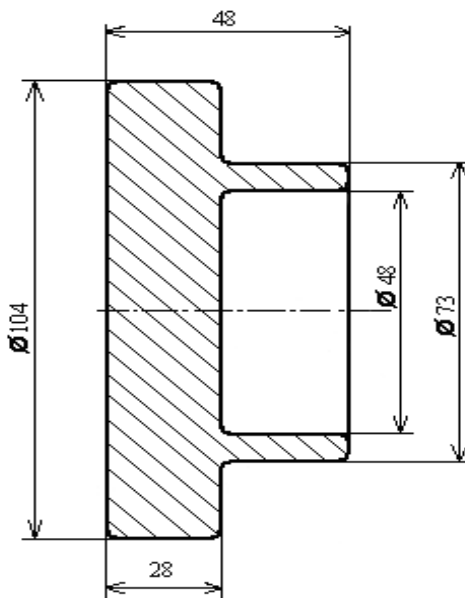


Рисунок 1.3 – Эскиз заготовки

На рисунке 1.3 представлен эскиз заготовки комплексной детали, полученной штамповкой. Конфигурация заготовки полностью совпадает с внешним видом готовой детали (рис. 1.1).

1.6 ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ БАЗ

Для всех токарных операций на станке с ЧПУ, в качестве технологической базы при обработке всех поверхностей детали выбираем ось (неявная база). Так как деталь относится к классу коротких валов ($48/104 < 1$) в качестве технологических баз необходимо использовать торец и наружную цилиндрическую поверхность (рис.1.4). В качестве второй технологической базы, лишаящей трех степеней свободы, в том числе и перемещения вдоль оси Z, выбираем: для поверхностей 1,4,16 – торец детали 10 (точки 1,2,3 на схеме А), для поверхностей 5,7,8,9,10,11,12,13,14,15 – торец детали 1 (точки 1,2,3 на схеме

Б).

Шестой степени свободы – вращения вокруг оси Z лишать не будем, т.к. деталь симметрична относительно оси вращения – используем неполную схему базирования.

Для операции сверления 4-х отверстий в качестве технологической базы выбираем ось детали – опорная – точки 1,2 (схема В). В качестве второй технологической базы выбираем поверхность 5, лишаящую деталь трех степеней свободы, в том числе и перемещения вдоль ось X.

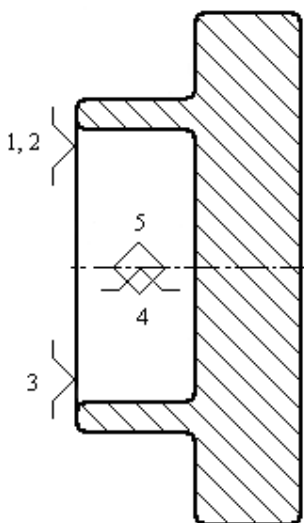


Схема А

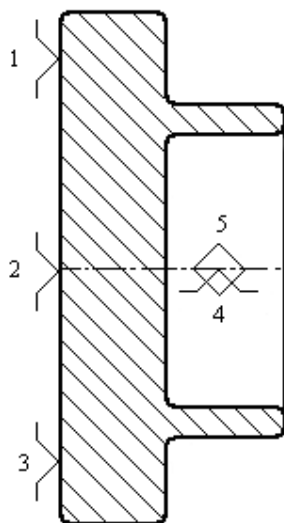


Схема Б

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

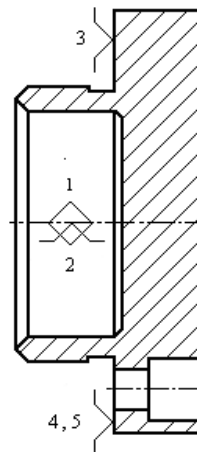


Схема В
Рисунок 1.4 – Технологические базы

1.7 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАНОВ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Пронумеровав все поверхности детали (см. рис.1.2) и определив по чертежу детали качество и шероховатость каждой из поверхностей, составляем план обработки.

Этапы технологического процесса обработки детали представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 - Технологический процесс обработки детали

№ ПОВ-ТИ	Качество		Технолог. базы		Этапы обработки					Инструмент	Операция
	Квал.	Ra	X	Z	Э0	Э1	Э3	Э7	Э9		
1	14	6,3	Ось	10	ШТАМПОВКА	+				T1	Ток. С ЧПУ
2	14	6,3	5	Ось		+				T3	Зенкерование

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

3	14	6,3	5							T3	Зенкерование	
4	14	12,5	Ось	10						T1	Ток. с ЧПУ	
5	14	6,3		1							T1	Ток. с ЧПУ
6	14	6,3	5	Ось						T2	Сверление	
7	14	6,3	Ось	1						T5	Ток. с ЧПУ	
8	7	0,8		1							T1, T1 ¹ , T6	Ток. с ЧПУ, шлифование
9	14	6,3		1							T1	Ток. с ЧПУ
10	14	6,3		1							T1	Ток. с ЧПУ
11	14	6,3		1							T4	Ток. с ЧПУ
12	14	6,3		1							T4	Ток. с ЧПУ
13	14	2,5		1							T4	Ток. с ЧПУ
14	14	6,3		1							T4	Ток. с ЧПУ
16	14	6,3		10							T1	Ток. с ЧПУ

T1 - резец черновой (ГОСТ 26611-85)

T1¹ - резец чистовой (ГОСТ 26611-85)

T2 - сверло Ø9 (ГОСТ 10903-87)

T3 - зенкер Ø14 (ГОСТ 12489-81)

T4 – резец расточной (ГОСТ 28101-89)

T5 - резец канавочный (ГОСТ 18884-73) В=3 мм

T6 – шлифовальный круг (ГОСТ 12569-88)

После разработки этапов обработки детали приступим к предварительному формированию установов и технологических операций.

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

Установ — часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемой детали.

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

1.8 ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ УСТАНОВОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

Первой операцией в технологическом процессе назначаем заготовительную. Вторая операция – транспортирование в цех механической обработки. Для сверления четырех отверстий назначаем операцию – сверление. Для получения 7 качества на поверхности №8 назначаем операцию – шлифование.

По окончании механической обработки необходимо произвести контроль детали, следовательно, назначаем контрольную операцию. Затем

деталь необходимо транспортировать на место сборки – назначаем транспортную операцию.

1.9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОГО КОМПЛЕКТА ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

С учетом распределения переходов обработки отдельных поверхностей по операциям определим количество инструментов для обработки деталей.

С учетом распределения переходов обработки отдельных поверхностей по операциям определим необходимое количество инструментов, необходимых для обработки деталей.

Основываясь на плане обработки поверхностей детали, необходимо 6 инструментов.

В качестве режущего инструмента для черновой обработки поверхностей 1, 4, 5, 8, 9, 10, 16 назначаем резец проходной отогнутый ГОСТ 21151-85. Для чистовой обработки поверхности 8 назначаем резец проходной отогнутый, но не затупленный предыдущей обработкой ГОСТ 21151-85. Для сверления отверстия с поверхностью 6 используем сверло диаметром 9 мм ГОСТ 10903-

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

87. Для зенкерования поверхностей 2 и 3 используем зенкер диаметром 14 мм ГОСТ 12489-81. Для обработки внутренних поверхностей 11, 12, 13, 14 назначаем резец расточной ГОСТ 28101-89. Для протачивания канавки с поверхностями 7 и 15 назначаем резец канавочный ГОСТ 18884-73. Для шлифования поверхности 8 назначаем шлифовальный круг ГОСТ 12569-88.

1.10 ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ЕГО ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

При выборе технологического оборудования руководствоваться следующими соображениями:

- 1 Конструктивный тип, к которому относится деталь;
- 2 Соответствие габаритов детали техническим возможностям станка;
- 3 Ёмкость револьверной головки;
- 4 Соответствие оборудования выбранному типу производства;
- 5 Соответствие выбранной мощности станка работе на оптимальных режимах.

Исходя из выше сказанного, выбираем станок токарный патронно-центровой многоцелевой с ЧПУ мод. 200НТ (600).

Станок предназначен для выполнения разнообразных токарных работ при обработке деталей различной сложности в условиях единичного и серийного производства. Патронно-центровой станок служит для наружной и внутренней обработки разнообразных сложных заготовок деталей типа тел вращения и обладает технологическими возможностями токарных центровых и патронных станков.

Технические характеристики станка мод. 200НТ (600)

Наибольший диаметр обработки над станиной, мм.....500

Наибольшая длина точения, мм600

Наибольший диаметр точения (различные валы), мм.....260

Наибольший диаметр точения (диски), мм.....400

Скорость вращения шпинделя, об/мин.....45-4500

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

Мощность привода главного движения, кВт.....	11
Перемещения по осям по осям X и Z, мм.....	265/700
Быстрое перемещение по осям по осям X и Z, м/мин.....	24/24
Рабочая подача по осям X и Z, мм/мин.....	0-5000
Дискретность, мм.....	0,001
Точность позиционирования по осям X и Z, мм.....	0,04
Крутящий момент серводвигателя X и Z, Нм.....	12/12
Максимальное перемещение задней бабки, мм.....	490
Габаритные размеры:	
длина, мм.....	2800
ширина, мм.....	1797
высота, мм.....	1795

После выбора основного технологического оборудования приступаем к выбору технологической оснастки.

Технологическая оснастка – это различные приспособления, которые применяются для более эффективного использования любого вида оборудования.

1.11 ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

Для закрепления детали используется трехкулачковый самоцентрирующий патрон 7100 - 0035 (ГОСТ 2675-80), позволяющий осуществлять передачу крутящего момента заготовке.

Для обработки заготовки на операциях сверления и зенкования используются специальные приспособления.

1.12 ОКОНЧАТЕЛЬНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Маршрутный технологический процесс:

- 005 Заготовительная
- 010 Транспортная
- 015 Токарная с ЧПУ
- 020 Токарная с ЧПУ
- 025 Сверлильная

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

030 Шлифовальная

035 Контрольная

040 Транспортная

Операционный технологический процесс:

Операция 015

1. Установить и закрепить деталь
2. Точить поверхности 1, 4, 16

Операция 020

1. Переустановить заготовку на второй станок
2. Точить поверхности 5, 8, 10
3. Точить поверхности 5, 8, 9
4. Точить начисто поверхности 5, 8
5. Расточить поверхности 11, 12, 13, 14
6. Расточить поверхность 13
7. Точить канавку 7, 15

После окончательного формирования операций механической обработки комплексной детали, приступаем к оформлению технологических переходов.

Технологический переход - законченная часть технологической операции, характеризуемая постоянством применяемого инструмента, режима работы станка и поверхностей, образуемых обработкой. Следующий переход начинается с момента изменения какого-либо из этих параметров.

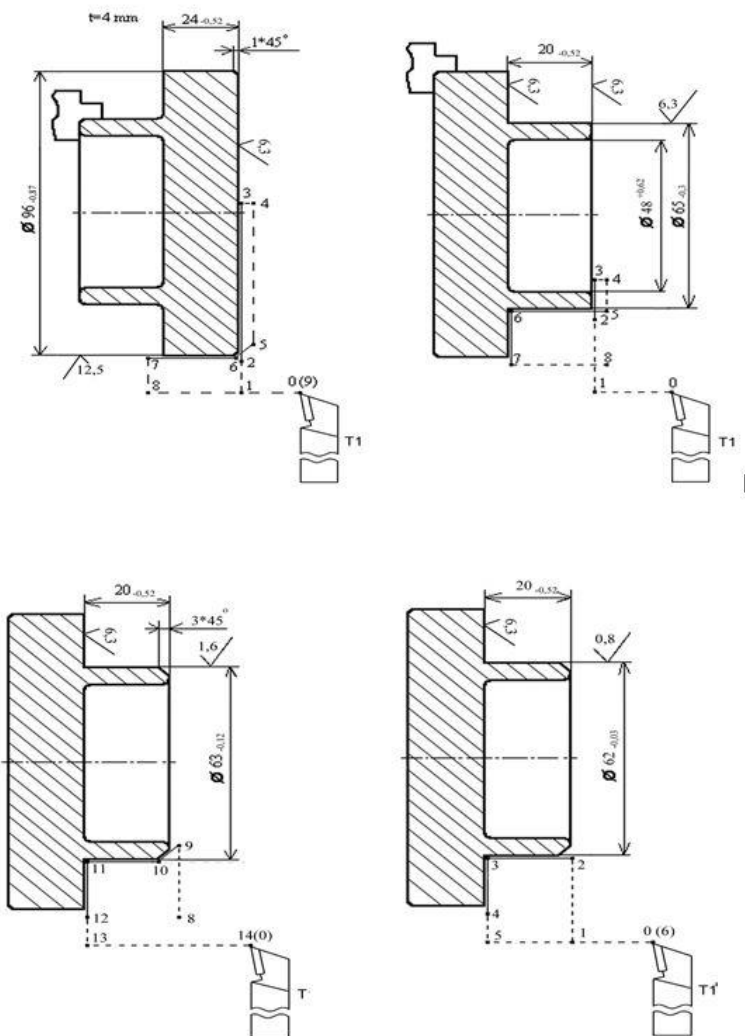
1.13 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПЕРЕХОДЫ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ

При обработке резанием технологический переход представляет собой законченный процесс получения каждой новой поверхности или сочетания поверхностей одним режущим инструментом при постоянных режимах и неизменной установке заготовки.

Технологические переходы могут выполняться за один или несколько проходов (рабочих ходов). Проход (рабочий ход) является частью технологического перехода, которая представляет собой однократное перемещение инструмента относительно заготовки, в результате которого с поверхности или сочетания по-

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

верхней заготовки снимается один слой материала.
 Эскизы технологических переходов (рис.1.5) на механическую обработку комплексной детали выполнены в той последовательности, в которой производится обработка детали.



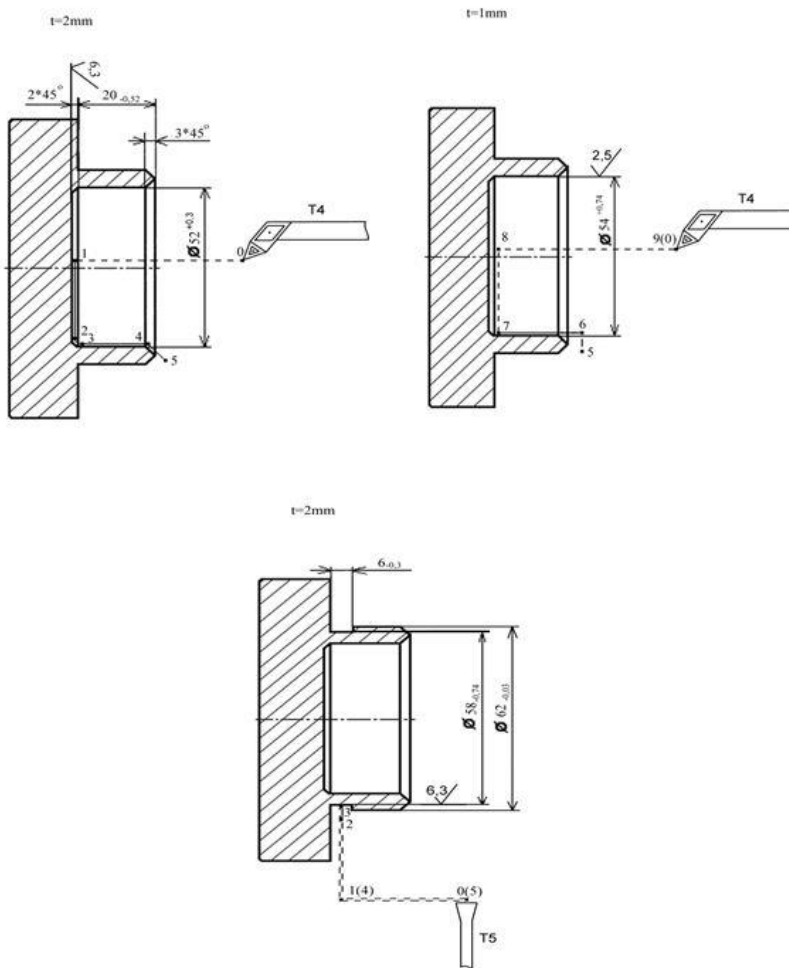


Рисунок 1.5 – Технологические переходы

1.14 РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ, ВРЕМЕНИ ОБРАБОТКИ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Скорость резания рассчитывается по формуле:

$$V = \frac{C_x}{t^x \cdot S^y \cdot T^m} \cdot k_v, \text{ мм/мин}$$

где k_v - коэффициент, учитывающий влияние материала заготовки, S - подача (мм/об), t - глубина резания, T - стойкость инструмента ($T=60$ мин.) значения C_v и показателей степени m , x , y - определяются по таблицам для формулы скорости резания в справочной литературе [1].

Усилие резания рассчитывается по формуле:

$$P_z = 9.81 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot T^m \cdot V^n \cdot k_p, \text{ Н}$$

где k_p - коэффициент, учитывающий фактические условия резания, S - подача (мм/об), t - глубина резания, T - стойкость инструмента ($T=60$ мин.) значения C_p и показателей степени m , n , x , y - определяются по таблицам для формулы усилия резания в справочной литературе [1,2].

Мощность резания рассчитывается по формуле:

$$N_z = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}, \text{ кВт}$$

где, P_z - усилие резания, V - скорость резания.

Мощность на валу двигателя на каждом переходе:

$$N_{\text{дв.}} = N_z / \eta, \text{ кВт}$$

где $\eta = 0.8$ - КПД механизма вращательного движения станка.

Мощность холостого хода станка:

$$N_0 = N_z \cdot a, \text{ кВт}$$

где N_z - номинальная мощность резания, a - коэффициент

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

постоянных потерь ($a=0.15$).

Основное время на каждом переходе:

$$t_{px} = \frac{L_{p,x}}{S_{p,x} \cdot n}, \text{ мин}$$

где $L_{p,x} = l_{\text{Л.}} + l_{\%op.} + l_{\text{Ир.}}$ - длина обрабатываемого участка детали,

$S_{p,x}$ - рабочая подача,

$$n - \text{число оборотов шпинделя } (n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}).$$

Вспомогательное время (время на подвод инструмента и поворот инструмента в револьверной головке):

$$t_{xx} = \frac{L_{xx}}{S_{xx}} + 0.1, \text{ мин}$$

где L_{xx} - длина холостого хода

S_{xx} - подача холостого хода ($S_{xx} = 900$ мм/об.);

(0.1 мин. на поворот одного инструмента в револьверной головке).

Для расчета режимов резания можно использовать табличные значения, приведенные в Приложении Б и литературе [3,4].

Найденные значения режимов резания заносим в таблицу 1.4.

Таблица 1.4 - Операционная карта механической обработки

	пе рехода	Со- держание работы	Режим работы						Ин- струмент

В операционной карте механической обработки используются обозначения:

L - длина обрабатываемой поверхности, мм;

t - глубина резания, мм;

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

- V - фактическая скорость резания, м/мин;
S - подача режущего инструмента, при точении мм/об. ,при фрезеровании мм/мин.
n - частота вращения шпинделя, об/мин,

1.15 Разработка управляющей программы для станка с ЧПУ

Для получения требуемых размеров деталей необходимы не только точные перемещения рабочих органов станка, но и точное согласование положения детали и инструмента в системе координат станка. Наиболее трудоёмким этапом при подготовки управляющих программ (УП) для станков с ЧПУ является расчёт траектории инструмента.

В **системе координат станка (СКС)** определяются начальные и текущие положения рабочих органов станка, их предельные перемещения.

За **нулевую точку станка** принято начало системы его координат. Стандартной системой координат токарного станка является двух координатная система $X_c Y_c$ с началом в базовой точке, лежащей на пересечении базового торца шпинделя с осью его вращения.

Исходная точка станка определяется относительно нулевой, с неё начинается работа по УП. Выбирают исходные точки из условий сокращения вспомогательных ходов, обеспечения безопасности смены инструмента.

Система координат детали (СКД) предназначена для задания координат опорных точек обрабатываемых поверхностей, а также координат опорных точек траектории инструмента. Опорными при этом считаются точка начала, конца, пересечения или касания геометрических элементов, которые составляют контур детали и влияют на траекторию инструмента на переходах обработки.

По эскизам технологических переходов составляется расчётно-технологическая карта. Согласно ГОСТ 3.1418-82 она является основным технологическим документом для подготовки программ на операцию, намеченную к выполнению на станке с ЧПУ. Карта содержит полную информацию о всех решениях, принятых на этапах проектирования операционной технологии. Её оформление производится в определённой последовательности:

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

1. Вычерчивают деталь в прямоугольной системе координат, оси которой параллельны осям координат станка; выбирают исходную точку обработки. Контуры детали, подлежащие обработке, и контур заготовки вычерчивают с указанием всех размеров, необходимых при программировании.

2. Наносят траекторию движения центра инструмента в плоскостях системы координат. Траектория движения инструмента выполняется с учётом выбранной последовательности обработки с указанием начала и соответственно конца в исходной точке. Началом (и концом) траектории инструмента является исходная точка O .

3. На траектории движения инструмента отмечают и обозначают цифрами опорные точки траектории и ставят стрелки, указывающие направление движения. Опорные точки необходимо намечать по геометрическим и технологическим признакам, т. е. они должны быть или точками, в которых изменяется геометрический характер траектории инструмента, или точками, в которых изменяется технологическое состояние детали (изменение режимов обработки, включение подачи и пр.).

4. При необходимости указывают места контрольных точек, в которых предусматривается кратковременная остановка инструмента в целях проверки точности отработки программ рабочими органами станка. Такие точки предусматривают, например, перед окончательными чистовыми проходами при обработке дорогостоящих деталей. Обозначают также точки остановки, необходимые для смены инструмента, изменения частоты вращения шпинделя, перезакрепления детали и пр., указывают продолжительность остановки в секундах.

Расчёт траектории инструмента состоит прежде всего в определении координат опорных точек на контуре детали и (если траектория является эквидистантной к обрабатываемому контуру) на эквидистанте. При этом предполагается, что принятую траекторию, фиксированную опорными точками, при обработке последовательно обходит центр инструмента.

Координаты опорных точек на эквидистантной траектории инструмента наиболее просто представить как приращение координат опорных точек контура детали.

При подводе каждого инструмента к детали вводится команда с использованием кор- ректора. В последнем кадре

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

использования того или иного инструмента подаётся команда на сброс коррекции с указанного ранее корректора.

Расчет геометрической информации к УП сводится к определению координат опорных точек.

Результаты расчета геометрической информации УП сводятся в таблицу 1.5.

Таблица 1.5 - Значение координат опорных точек, мм

Инструмент №1			Инструмент №2			Инструмент №3		
Номер опорной точки			Номер опорной точки			Номер опорной точки		

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

2 ПРОЕКТНО – КОНСТРУКТОРСКИЕ ЗАДАЧИ

На этом этапе студентам надо последовательно решить следующие задачи:

2.1 ОПРЕДЕЛИТЬ НАПРАВЛЕНИЯ РОБОТИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА.

Рассматриваемые вопросы, связанные с анализом конструктивно-технологических свойств разрабатываемых объектов, их перспективностью использования в автоматизированном производстве, носят, как правило, описательный характер основных направлений и путей решения автоматизации производственных процессов в машиностроении. Вычленяются такие проблемы, как предпосылки создания роботизированных операций и повышение эффективности производственных процессов; особенности применения промышленных роботов, значение робототехники для промышленного производства и другие.

2.2 ПРОВЕСТИ ПОИСК РАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ

На этом этапе формулируется постановка задачи, и из известного набора технических решений обоснованно производится комбинирование вариантов, целевым образом приводящих к решению поставленной задачи.

Этот этап работы выполняется в несколько приемов с помощью отдельных операций описания ситуаций. После выполнения каждой операции необходимо кратко записать полученные результаты и на их основе составить текст данного раздела.

Операция 1 - Описание проблемной ситуации.

Эта операция представляет собой самую предварительную краткую формулировку задачи, в которой должны содержаться ответы на поставленные вопросы:

В чем состоит затруднение или проблемная ситуация и какова её предыстория?

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

Что требуется сделать для устранения проблемной ситуации, т.е. какую потребность необходимо удовлетворить?

Что мешает устранению проблемной ситуации или достижению поставленной цели?

Что дает решение задачи для людей, участка, производства?

Приводится качественное описание функций и назначения комплекса, которое должно содержать четкую и краткую характеристику создаваемого объекта, способного удовлетворить возникшие требования.

Операция 2 - Выбор прототипа и составление списка требований.

В описании проблемной ситуации указывают прототип, который требуется усовершенствовать. Список основных требований к прототипу составляют в виде списка требований к принципу действия или техническому решению. Это описание представляет собой техническое задание на разработку нового технического объекта.

В качестве прототипа может послужить токарный станок с ЧПУ, обслуживание которого может осуществляться автоматическим манипулятором. Совокупность такого решения позволит создать роботизированный станочный комплекс.

К списку основных требований может быть отнесен перечень количественных показателей объекта, особых условий и ограничений, при которых выполняются действия. К ним относятся: область применения, надежность, вид и показатели используемой энергии, особые воздействия окружающей среды (условия эксплуатации, температура и влажность воздуха). Наибольший диаметр и длина обрабатываемых изделий, максимальная масса заготовки и соответствующие количественные показатели комплекса по массе, форме, габаритным размерам и компоновке, число степеней подвижности манипулятора.

Операция 3 - Составление списка недостатков прототипа.

Указываются трудности использования прототипа, их недостатки, улучшение которых обеспечивает получение новой улучшенной модификации технического объекта. При этом необходимо стремиться выявить все недостатки прототипа, которые могут быть устранены в новом комплексе. То есть для каждого

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

прототипа следует указать:

- критерии развития технического объекта;
- факторы, снижающие эффективность или затрудняющие использование прототипа;
- показатели, которые желательно улучшить.

Для каждого критерия, показатели и фактора следует дать по возможности количественную оценку с перспективой на будущее. В заключении этой операции дается предварительно формулировка задачи.

Операция 4 - Построение улучшенной конструктивно-функциональной системы.

Для выполнения этой операции необходимо четкое представление о желаемых характеристиках, функциях и устройстве технического объекта, который требуется усовершенствовать или вновь спроектировать. При разработке нового комплекса нужно стремиться к тому, чтобы устранить видимые недостатки. Следует также отметить изменения качественных показатели возможного повышения уровня автоматизации комплекса в перспективе при минимальных дополнительных затратах.

2.3 ПРОИЗВЕСТИ ВЫБОР ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

С учетом разработанной функциональной структуры, массы заготовок и геометрических параметров зоны обслуживания принимается решение для проектирования или производится выбор стандартного промышленного робота. В последнем случае указываются модель выбранного робота и приводится его техническая характеристика. После этого принимается решение по выбору устройств управления станком и промышленным роботом, указываются модели и приводятся их характеристики. Если планируется произвести модернизацию стандартного оборудования, то перечисляется объем модернизируемых узлов и их причины.

При выборе ориентирующих, захватных, транспортно-накопительных, станочных приспособлений и других вспомогательных устройств указываются их особенности, оригинальность конструкции и технические требования к проектированию.

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

При использовании стандартного вспомогательного оборудования указываются их модели и технические характеристики.

2.4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА

2.4.1 Общие приемы конструирования основного технологического оборудования

Если при выборе прототипа оборудования и оценке его недостатков обнаружится несоответствие между технологическими требованиями к РТК и техническим характеристиками станка-прототипа, то возможным решением может быть его конструктивная модернизация. Основные приемы можно рассмотреть на примере модернизации станка за счет разработки его привода главного движения с необходимыми характеристиками.

При проектировании приводов станков следует учитывать, что современные системы электроприводов позволяют решить многие задачи, связанные с регулированием и изменением скорости и направления движения, которые раньше решались с помощью механических устройств. В итоге существенно упрощается механическая часть привода, укорачиваются кинематические цепи, что способствует повышению жесткости привода и точности перемещения, упрощается автоматическое дистанционное управление приводом, расширяются возможности унификации приводов и выполнения их в виде отдельных агрегатов (модулей).

Важнейшими исходными данными для проектирования привода главного движения являются диапазон регулирования частоты вращения R_n и мощность N , передаваемая приводом. Эти технические характеристики зависят от служебного назначения станка, их определяют на основе анализа технологических процессов обработки множества деталей и соответствующей номенклатуры режущего инструмента. При этом

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

$$R_n = n_{\max} / n_{\min}$$

Для приводов с главным вращательным движением n_{\max} и n_{\min} - максимальная и минимальная частоты вращения шпинделя, определяемые по предельным (максимальным и минимальным) для всех операций скоростям резания V_{\max} и V_{\min} и предельным для них же размерам обработки D_{\max} и D_{\min} :

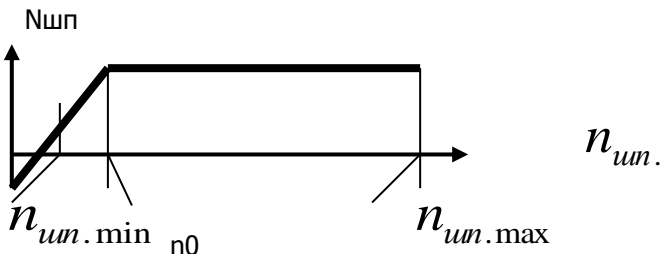
$$n_{\max} = \frac{1000 \cdot V_{\max}}{\pi \cdot D_{\max}}; \quad n_{\min} = \frac{1000 \cdot V_{\min}}{\pi \cdot D_{\min}}$$

2.4.2 Кинематический расчет комбинированного привода главного движения станков с регулируемым электродвигателем

Исходные данные: $n_{ун. \max}$; $n_{ун. \min}$; $N_{ун. \max}$

$$n_0 = n_{шп. \min} \cdot \sqrt[4]{n_{ун. \max} / n_{ун. \min}} \quad \text{:-} \quad n_{шп. \min} \cdot \sqrt[3]{n_{ун. \max} / n_{ун. \min}} \quad (1)$$

По этим данным строится диаграмма мощности привода шпинделя в виде:



ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

Рисунок 2.1 - Диаграмма мощности привода шпинделя

Здесь значения $n_{\text{шт. max}}$, $n_{\text{шт. min}}$ и n_0 должны быть откорректированы в соответствии с нормальными рядами чисел в станкостроении при $\varphi = 1,12$.

Выбор двигателя. Для обеспечения процессов резания мощность двигателя в станке следует определять с учетом потерь в приводе по формуле:

$$N_{\text{дв}} = N_{\text{э}} + N_{\text{п}},$$

где: $N_{\text{э}}$ - эффективная мощность резания, $N_{\text{э}} = N_{\text{шп. max}}$.

$N_{\text{п}} = N_1 + N_2$ - мощность, расходуемая на преодоление вредных сопротивлений, причем N_1 - постоянные, не зависящие от нагрузки потери холостого хода;

N_2 - дополнительные потери, появляющиеся при передаче полезной мощности.

Эффективную мощность резания определяют в соответствии с режимами обработки.

Мощность холостого хода существенно увеличивается с увеличением скорости и может составлять значительную долю общей мощности в скоростных станках.

$$N_1 = \frac{d}{10^6} \left(\sum_n + k_1 + \frac{d_0}{d} \cdot \eta_0 \right) k_2,$$

где: d - средний диаметр шеек под подшипник всех промежуточных валов коробки скоростей, мм ;

d_0 - диаметр шеек шпинделя, мм;

\sum_n - сумма частот вращения всех промежуточных валов,

мин^{-1} , $k_1 = 1,5, \dots, 2,0$ - коэффициент, учитывающий потери в шпиндельном узле за счет предварительного натяга в опорах;

$k_2 = 3 \div 5$ - коэффициент, учитывающий совершенство системы смазки.

Дополнительные потери составляют обычно не более 10-15% всей потребляемой мощности, что позволяет не учитывать их при приближенных расчетах.

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

При расчетах на стадии конструирования мощность двигателя может быть выбрана, если известен общий КПД привода

$$N_{дв} = N_{ун. max} / \eta,$$

где

$$\eta = \prod \eta_i \alpha_i,$$

где: η_i – к.п.д. конкретных передач или опор; α_i - число однотипных передач или опор с одинаковыми к.п.д.

Таблица 2.1- КПД передач и подшипников

Ременные передачи:	η_p
с плоским ремнем	0,98
с клиновым ремнем	0,97
Зубчатые передачи:	η_z
цилиндрические с прямыми зубьями	0,99
цилиндрические с косыми зубьями	0,98
конические	0,97
червячные	$\frac{tg \alpha}{tg(\alpha + \varphi)}$
работающие вхолостую с электромагнитной муфтой	0,99
Подшипники:	η_s
качения	0,995
скольжения	0,98

Двигатель подбирается по таблицам технических характеристик регулируемых электродвигателей главного движения станков, например 4ПФ, при этом табличное значение $N_{дв}$ должно быть не менее расчетного. Для выбранного двигателя из таблиц принимаются значения максимальной и номинальной частоты вращения двигателей ($n_{дв. max}$; $n_{дв. н}$).

Диаграмма мощности двигателя представлена на рис. 2.2.

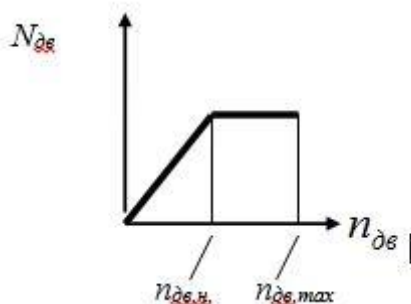


Рисунок 2.2 - Диаграмма мощности двигателя

Двигатели постоянного тока со встроенным тахогенератором и датчиком тепловой защиты (терморезистором) серии 4ПФ предназначены для использования в составе комплектных тиристорных двухзоннорегулируемых электроприводов типа ЭПУ I.

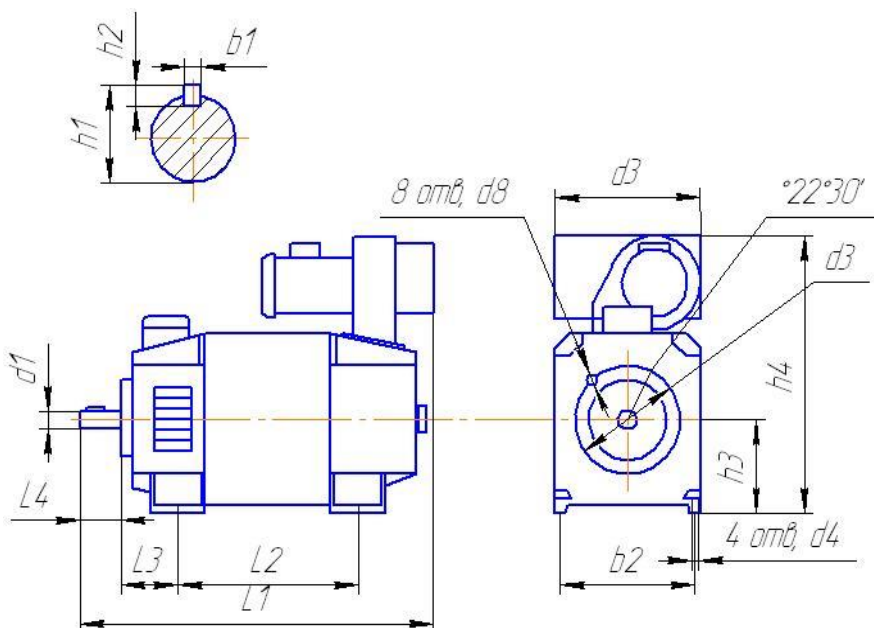
Таблица 2.2 – Технические характеристики электродвигателей серии 4ПФ

Условное обозначение	Номинальные данные				V_{max} , Об/мин	$N_{возб}$, Вт	J , кг*м ²	m , кг	Вентилятор	
	N , кВт	$I_{я}$, А	КПД, %	V , об/мин					тип	N , кВт
4ПФ 112S	4	12	74	1000	3000	327	0,05	72	4AA5 0	0,12
4ПФ 112M	5,5	15	74			590	0,06	97		
4ПФ 112L	7,5	20	77			664	0,06	112		
4ПФ 132S	7,5	21	77		4500	753	0,1	119	4AA5 6	0,25
4ПФ 132M	11	30	79			758	0,12	144		
4ПФ 132L	15	41	80			826	0,14	162		
4ПФ 160S	18,5	49	82		4000	980	0,25	236	4AA6 3	0,55
4ПФ 160M	22	57	85			1035	0,29	273		
4ПФ 160L	30	78	84			1205	0,33	297		

Таблица 2.3- Габаритные и присоединительные размеры
(в мм) двигателей 4ПФ

Условное обозначение	1	Исполнение Б														
		2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
4ПФ 112S																
4ПФ 112M		112	35	8	10	190	32	M10	165	12	350	880				
4ПФ 112L											410		70			
4ПФ 132S																
4ПФ 132M		132	45	8	12	216	42	15	215	12	380	320	89			
4ПФ 132L											450			110		
4ПФ 160S																
4ПФ 160M											340			850	790	
4ПФ 160L	160													920	863	
	52										410			933		
	9															
	14															
	254															
	48															
	15															
	265															
	15															
	450															
	108															
	110															
	973															
	560															
	390															

Основные размеры двигателей 4ПФ приведены на рисунке



2.3.

Рисунок 2.3 – Габаритные и присоединительные размеры двигателей 4ПФ

Диапазоны регулирования частоты вращения на шпинделе и в двигателях с постоянной мощностью

$$R_{N.шп} = n_{ун.маx} / n_0 i$$

$$R_{N.дв} = n_{дв.маx} / n_{дв.н}$$

Число ступеней механических передач

$$Z_k = \lg R_{N.шп} / \lg R_{N.дв}$$

Расчетное значение Z_k округляется до целого числа.

Принятое число ступеней коробки передач Z_k определяет число поддиапазонов регулирования и, соответственно, число различных передаточных отношений передач от двигателя к шпинделю, т.е.

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

$$i^I, i^{II}, \dots, i^Z.$$

В современных станках с ЧПУ число поддиапазонов, как правило, 2, 3 или 4, не более.

2.4.3 Передаточные отношения передач

Знаменатель геометрического ряда передаточных отношений передач от двигателя к шпинделю:

$$\varphi_k = z_k^{-1} \sqrt{i_{\max} / i_{\min}}.$$

Передаточные отношения передач между двигателем и шпинделем:

$$i^I = i_{\min} = n_0 / n_{\text{дв.н}},$$

$$i^{II} = i^I \varphi_k,$$

.....

$$i^Z = i_{\max} = n_{\text{шпн. max}} / n_{\text{дв. max}}.$$

При округлении Z_k может быть принят больше или меньше расчетного значения. Окончательное решение принимается на основе анализа получаемых диаграмм мощности привода с построенными поддиапазонами регулирования частоты вращения. Так, например, если расчетное число ступеней Z_k механических передач округлено в меньшую сторону, то может произойти некоторый разрыв в диапазоне регулирования с постоянной мощностью. Компенсация может произойти только в случае, если мощность выбранного двигателя существенно превышает расчетную (см. пример расчета). Иначе придется принимать Z_k большего значения, что дает некоторое перекрытие скоростей и бывает целесообразным, не вызывая необходимости переключать передачи, останавливая вращение шпинделя. Но это усложняет конструкцию коробки передач и увеличивает ее габариты.

Кинематические схемы приводов строятся по правилам, определенным для обычных множительных структур, с теми же ограничениями для допустимых передаточных отношений пере-

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

дач ($1/4 \leq i \leq 2$), минимального числа зубьев шестерен и максимальной суммы числа зубьев каждой передачи.

2.4.4 Построение графика частот вращения.

График частот вращения строится по правилам, принятым в графоаналитическом методе кинематического расчета ($\varphi = 1,12$ или $\varphi = 1,26$) для упрощения рисунка. Ротор двигателя принимается как вал **I**, на нем отмечаются максимальная и номинальная частота вращения двигателя. При этом на шпинделе должны быть получены частоты вращения, соответствующие каждому поддиапазону регулирования. Передачи, обеспечивающие $n_{шп.мин}$, это те же передачи, которые включаются для достижения n_0^I на шпинделе.

2.5 ПРИМЕР КИНЕМАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА

Исходные данные: $n_{ун.маx} = 3000 \text{ об/мин}$
 ; $n_{ун.мин} = 40 \text{ об/мин}$; $N_{ун.маx} = 7 \text{ кВт}$.

$$n_0 = n_{шп.мин} * \sqrt[3]{n_{ун.маx} / n_{ун.мин}} = 195,6 \text{ об/мин.}$$

В соответствии с нормальными рядами чисел в станкостроении принимаем $n_{шп.маx} = 3150 \text{ об/мин}$; $n_{шп.мин} = 40 \text{ об/мин}$; $n_0 = 200 \text{ об/мин}$.

По этим данным строится диаграмма мощности привода шпинделя в виде:

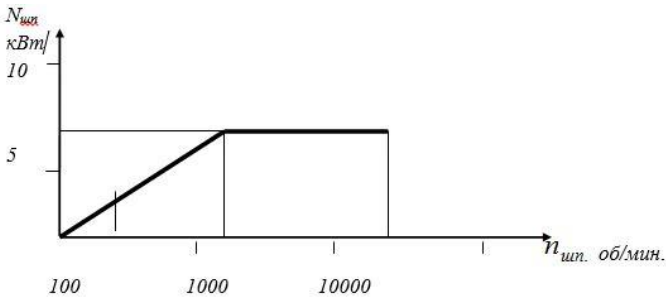


Рисунок 2.4 - Диаграмма мощности привода шпинделя

Выбор двигателя. При расчетах на стадии конструирования мощность двигателя может быть выбрана, если известен общий КПД привода

$$\eta = \prod \eta \alpha_i = 0,99^3 * 0,98 * 0,995^4 = 0,9$$

$$N_{дв} = N_{шп. max} / \eta = 7,53$$

Двигатель подбирается по таблицам технических характеристик регулируемых электродвигателей (табл. 2.2) - 4ПФ132М: $N_{дв} = 11$ кВт.

Для выбранного двигателя из таблиц принимаются значения максимальной и номинальной частоты вращения двигателей $n_{дв. max} = 4500$ об/мин; $n_{дв. н} = 1000$ об/мин.

Диапазоны регулирования частоты вращения на шпинделе и в двигателях с постоянной мощностью

$$R_{N. шп} = n_{шп. max} / n_0 = 3150 / 200 = 15,75;$$

$$R_{N. дв} = n_{дв. max} / n_{дв. н} = 4500 / 1000 = 4,5 .$$

Число ступеней механических передач

$$Z_k = \lg R_{N. шп} / \lg R_{N. дв} = 1,83.$$

Расчетное значение Z_k округляется до целого числа: $Z_k = 2$
 Передаточные отношения передач между двигателем и шпинделем:

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

$$i^I = i_{\min} = n_0 / n_{\text{дв.н}} = 200 / 1000 = 1/5,$$

$$i^{II} = i_{\max} = n_{\text{ун.мак}} / n_{\text{дв.мак}} = 3000 / 4500 = 2/3.$$

Кинематические схемы приводов строятся по решениям, принятым в кинематике станка-прототипа, и вносятся изменения в соответствии с расчетами числа ступеней и передаточных отношений передач между двигателем и шпинделем.

Так при $Z_k = 2$ могут быть приняты варианты:

$$i^I = i_{\min} = i_1 * i_2 = 3/5 * 1/3; i^{II} = i_{\max} = 3/5 * 10/9,$$

$$i^I = i_{\min} = i_1 * i_2 = 1/2 * 2/5; i^{II} = i_{\max} = 1/2 * 4/3.$$

Окончательное решение принимается при дальнейшей разработке конструкции.

На основе выбранной структуры и кинематических параметров передач производится компоновка узла, на основе которой выбирается расчетная схема для определения силовых факторов в опорах и передачах, строятся эпюры нагружения валов. Производится силовой расчет с подбором материалов деталей и конструирование узла с применением стандартных изделий, выбранных в соответствии с нагрузками.

Устройства, обеспечивающие автоматизацию производственного процесса (в т.ч. роботы и манипуляторы) в приводной части реализованы на определением набора технических решений и кинематических структур. Как правило, они по своей сути и большинству параметров аналогичны приводам подач металлорежущих станков, отличие от станочных приводов заключается в не столь высоких требованиях по жесткости кинематических связей и меньшей точности перемещений при более высоких скоростях.

Проектирование привода производится по следующим этапам:

- определение характера и направления движения всех рабочих органов, необходимой взаимосвязанное движений по двум и более координатам;

- выбор типа кинематических связей в приводе и типа двигателя;

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

- выбор типов основных механизмов привода (тяговых устройств, механизмов отключения, реверсирования и т.д.);
- расчет основных параметров (мощности двигателя, потерь в приводе, передаточных отношений передач и т.д.);
- конструирование узлов привода и их деталей.

Выполнение любого из этапов проектирования привода ведет к многовариантным решениям. Выбор того или иного из них делают на основе технико-экономических расчетов, анализируя степень удовлетворения основных требований, предъявляемых к приводу. Так, использование нескольких двигателей позволяет сократить кинематические цепи, упростить управление.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Справочник технолога –машиностроителя. В 2-х т. Т.1/Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова. – 5-е изд., исправл. – М.:Машиностроение, 2003 г.- 912 с., ил.
2. Режимы резания металлов. Справочник. Под ред. Ю.В. Барановского Изд. 3-е, пераб. и доп. М., «Машиностроение»,1972. – 407 с.
3. Обработка металлов резанием: Справочник технолога А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойм и др.; Под общ. ред. А.А. Пано-ва. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2004. – 784 с.: ил.
4. Расчет режимов резания: учебное пособие /Безъязычный В.Ф. - Рыбинск: РГАТА, 2009. – 184 с.
5. . Проектирование технологических процессов в машиностроении: учебное пособие /Схиртладзе А. Г. и др. - Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 279 с.
6. Тугенгольд А.К., Череватенко В.А. Изучение методов подготовки УП для токарного РТК ТПК125ВН2 [Электронный ресурс]. - Ростов н/Д.: ДГТУ, сайт ЦДО №1839, 2014.
7. Тугенгольд А.К., Череватенко В.А. Подготовка УП для управляемой машины с ЧПУ мод. 6Р13Ф3-37 [Электронный ресурс]. - Ростов н/Д.: ДГТУ, сайт ЦДО №1840, 2014.
8. Тугенгольд А.К., Череватенко В.А. Разработка технологического процесса обработки деталей на РТК, программирование в ISO [Электронный ресурс]. - Ростов н/Д.: ДГТУ, сайт ЦДО №1839, 2014.
9. Череватенко В.А., Круглова Т.Н., Юсупов А.Р. Изготовление деталей мехатронных узлов на станках с ЧПУ с использованием автоматических стандартных циклов [Электронный ресурс]. - Ростов н/Д.: ДГТУ, сайт ЦДО №2370, 2015.
- 10.Тугенгольд А. К., Лаврентьев Е.Б. / Методические указания к курсовой работе по дисциплине «Оборудование роботизированных производств». Ростов – н/Д. Издательский центр ДГТУ,

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

2007, 26 с.

11. Вереина Л.И., Краснов М.М., Фрадкин К.И. Металлообработка: Учебное пособие. – М.: ИНФРА, 2013. – 320 с.

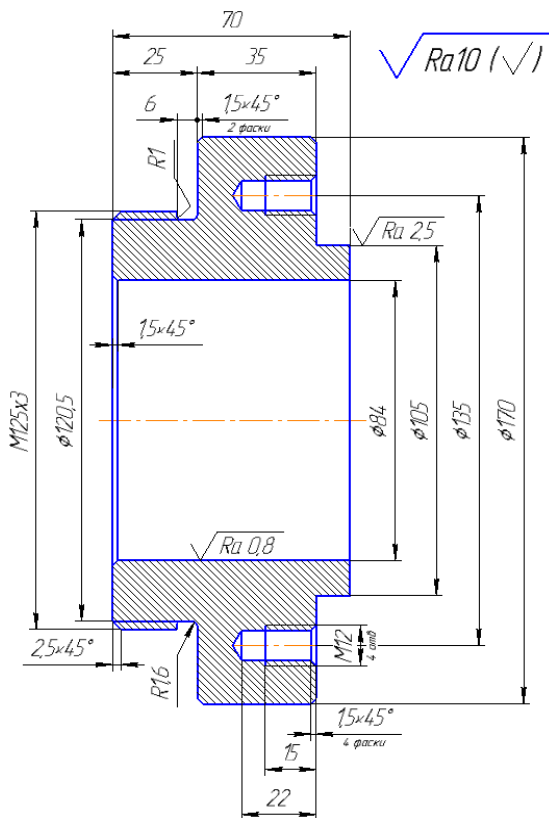
12. Иванов Г.А. Расчет и конструирование механического привода: Учебное пособие / Г.А. Иванов. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 384 с.

13. ГОСТ 1050-2013. Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия- Введ. 2015-01-01. – М.: Изд-во Стандартиформ. 2014. – 35 с.

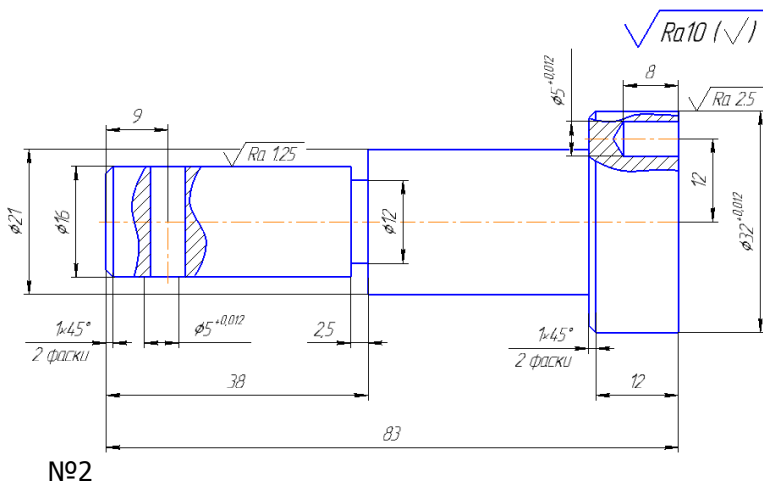
ПРИЛОЖЕНИЕ А

Примеры типовых комплексных деталей

№1

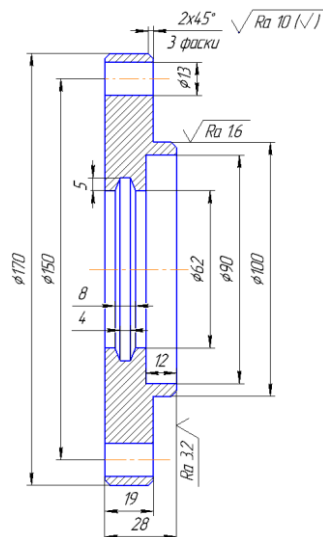


Сталь 20Л



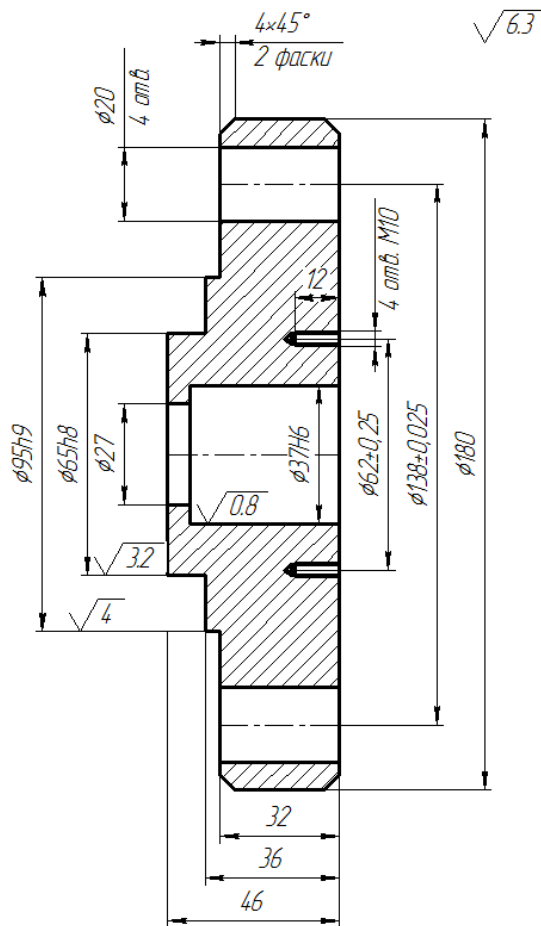
Сталь 45

№3



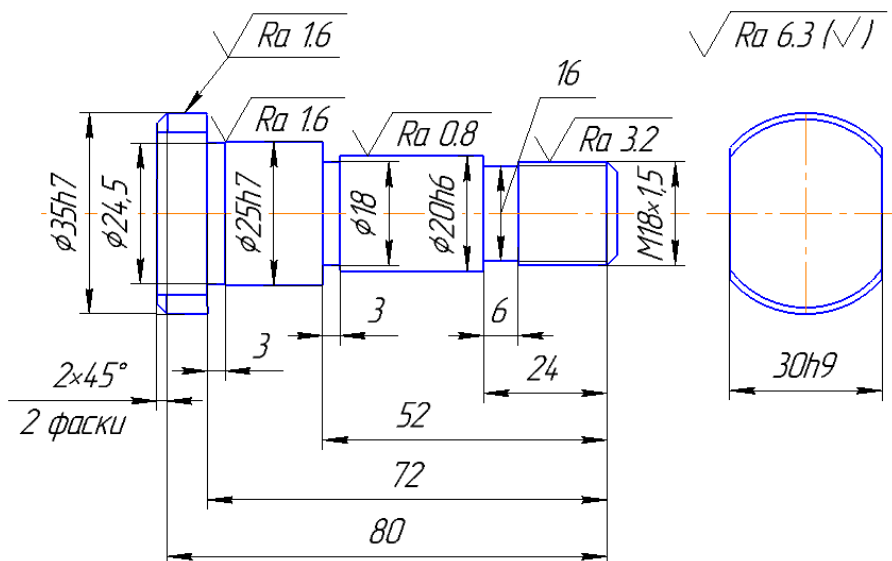
Латунь ЛА67-2,5

№5



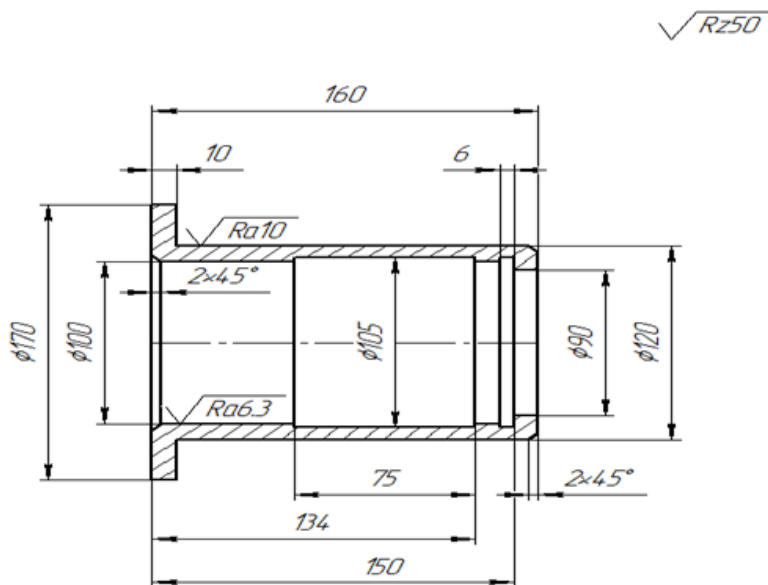
Сталь 45

№6



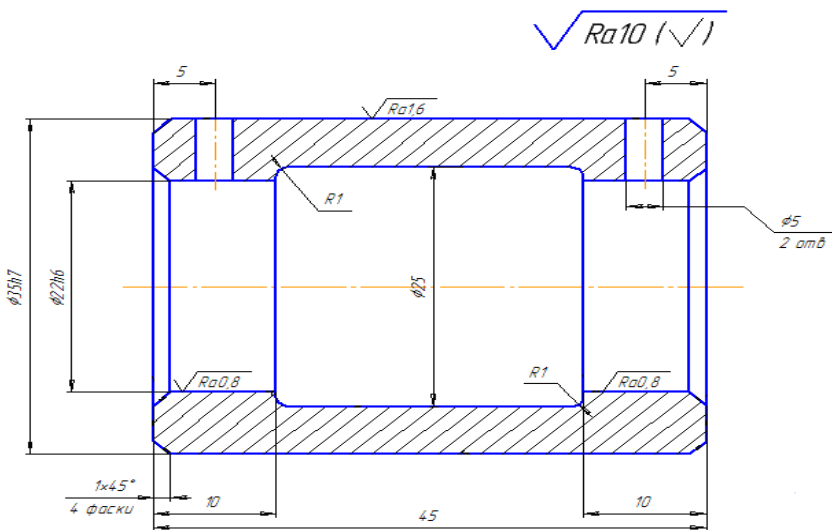
Сталь 20X

№7

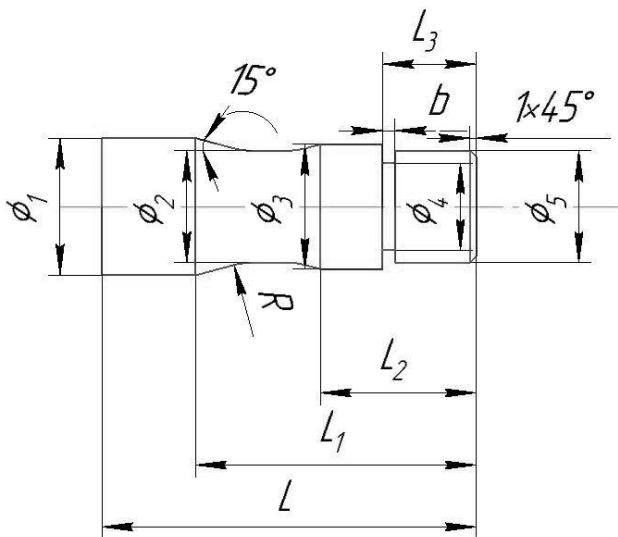


Латунь Л66

№8

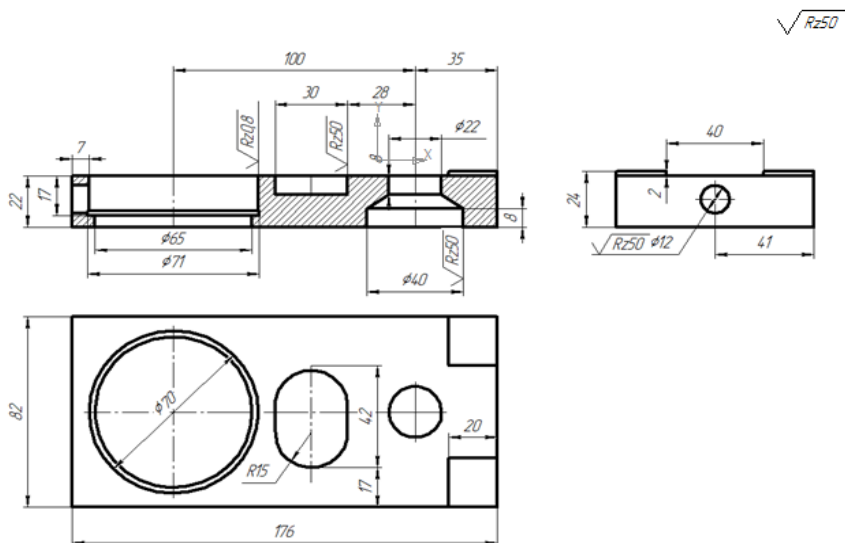


Сталь 45



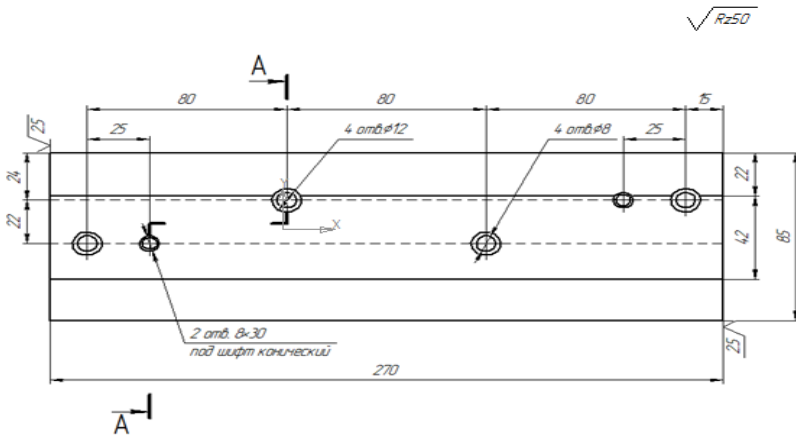
Вариант	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	L	L_1	L_2	L_3	b	R	Материал
9	22	18	22	14	15	60	45	25	15	2	10	АК М7
10	30	20	25	14	18	55	45	20	15	2	12	Ст. 50Х
11	32	20	25	18	20	65	50	30	20	2,2	15	СЧ-25
12	35	22	28	19	20	70	60	40	25	2,5	20	Ст. 45
13	40	20	32	20	22	80	65	42	28	2,5	20	ЛС59-1
14	42	24	30	18	22	75	60	40	24	2,5	20	Ст. 40Х

№15

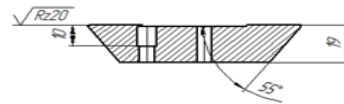


Сталь 45

№16

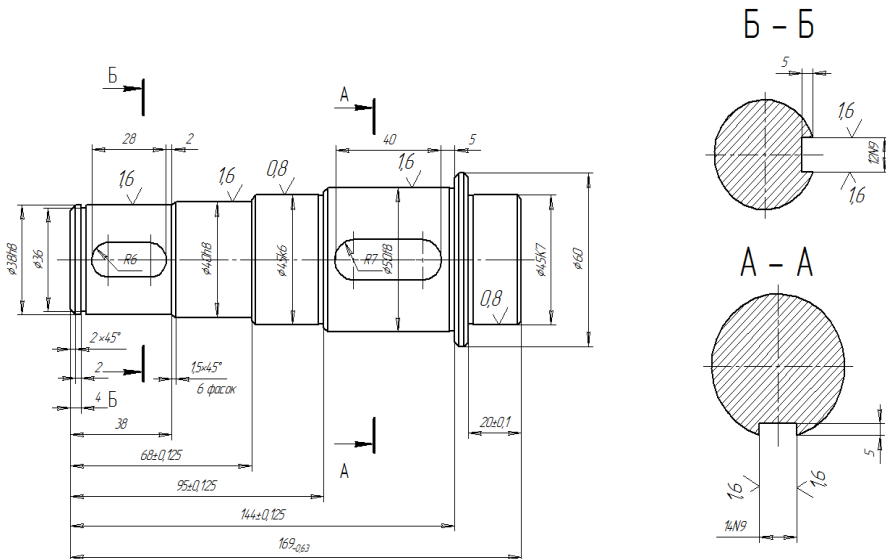


A-A



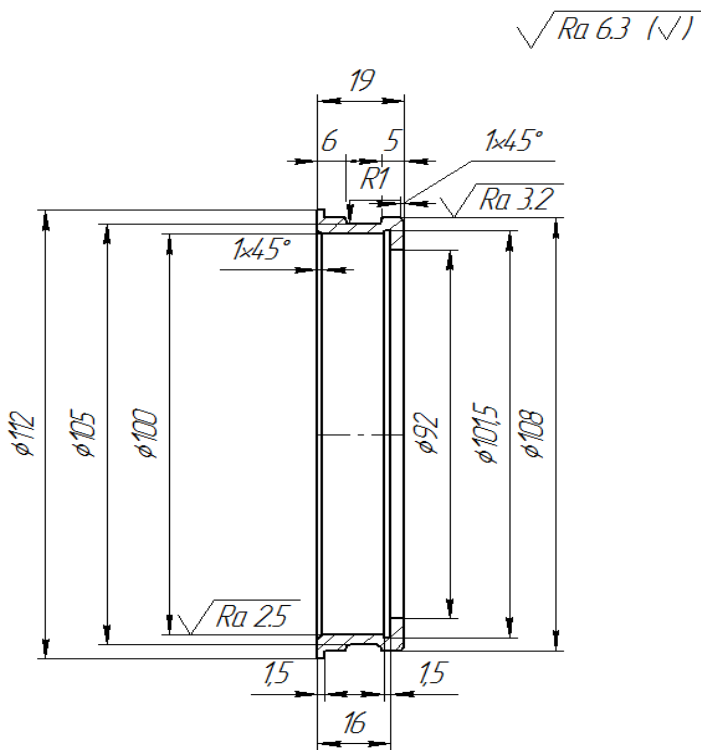
Сталь 35

№17



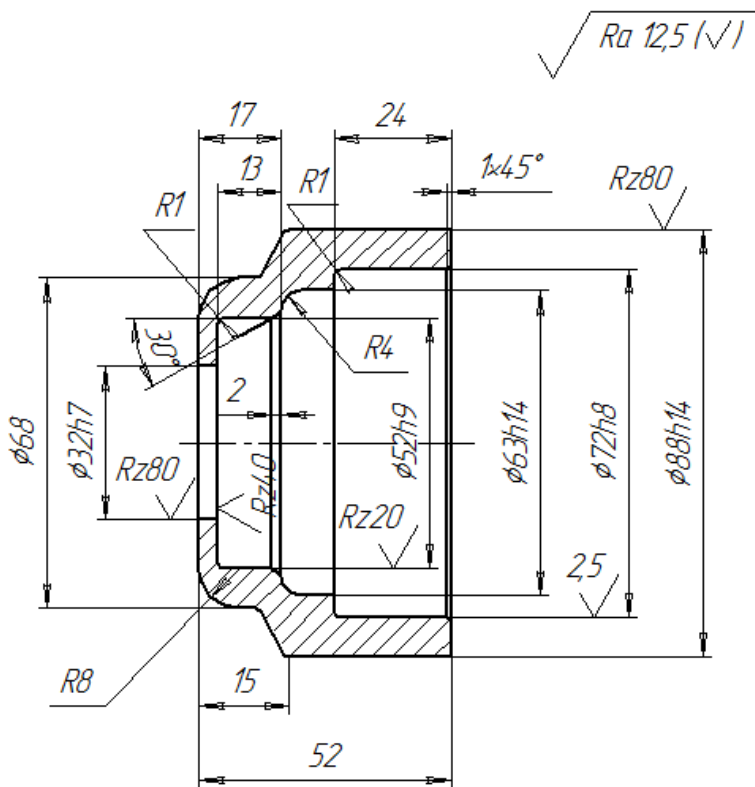
Сталь 40х

№18



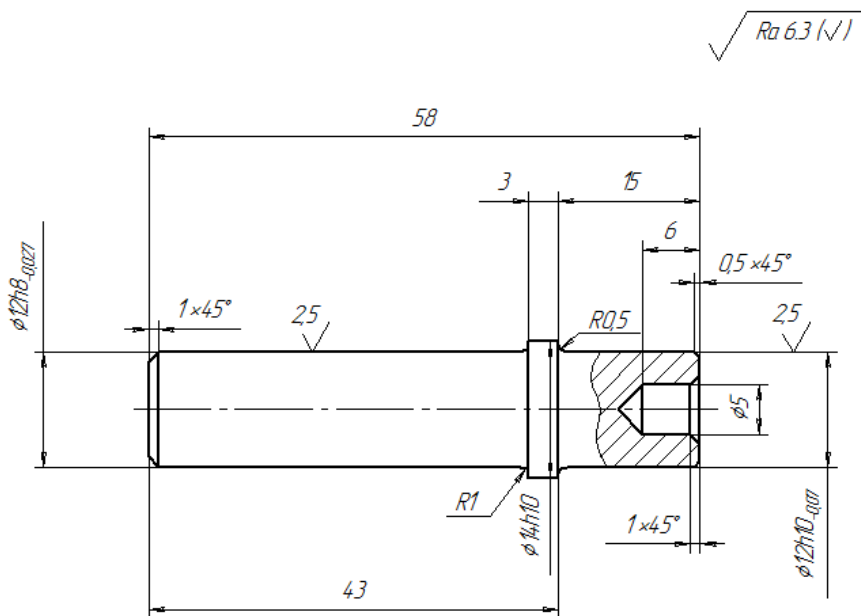
Сталь 45

№19



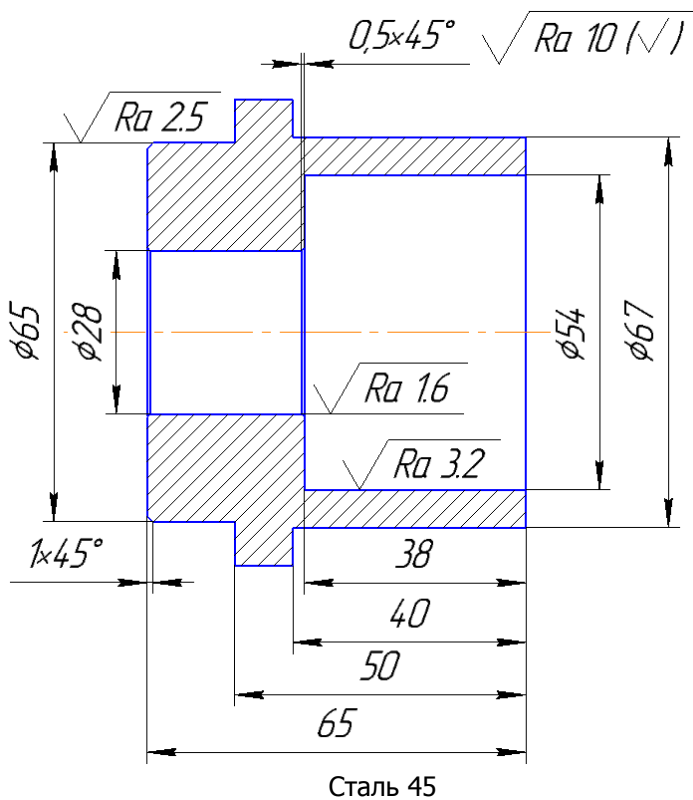
Чугун СЧ16

№20

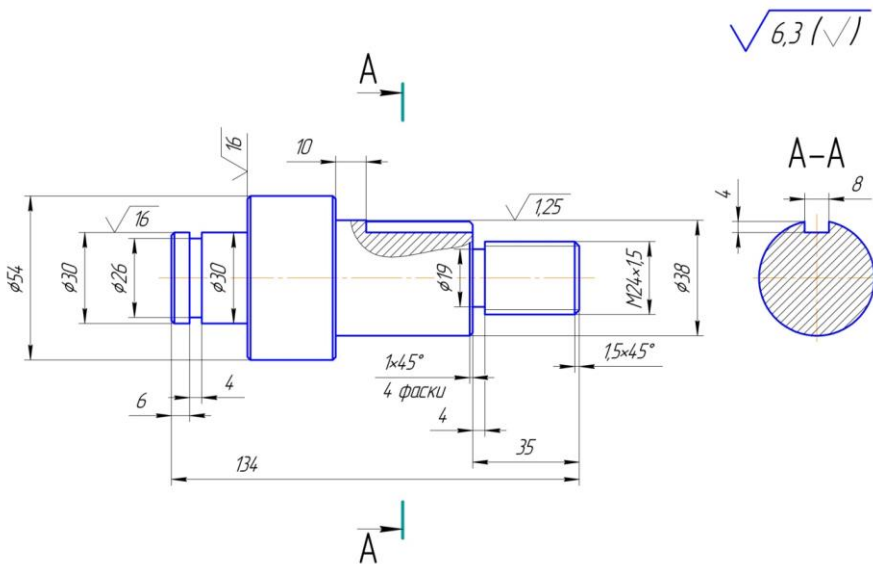


Сталь 40X

№ 21

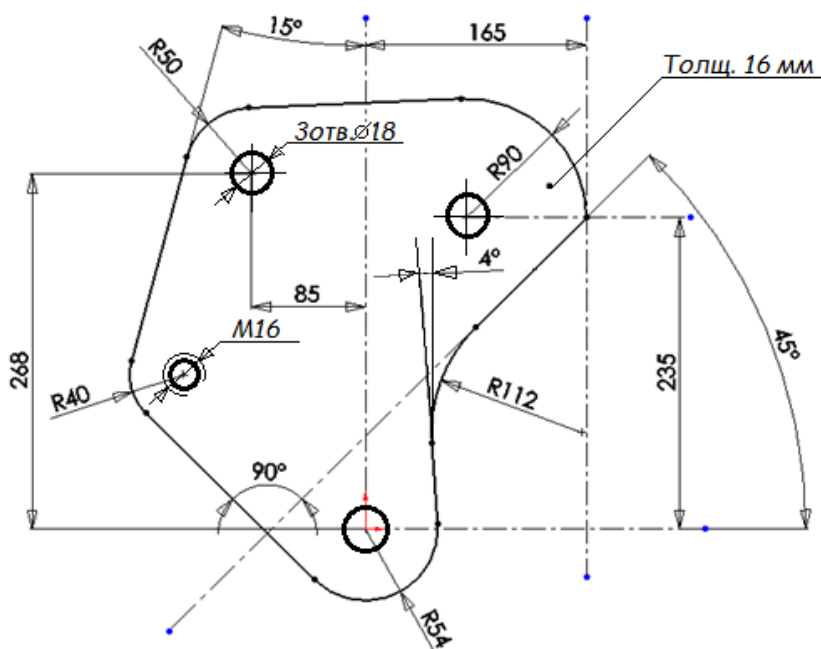


№ 22



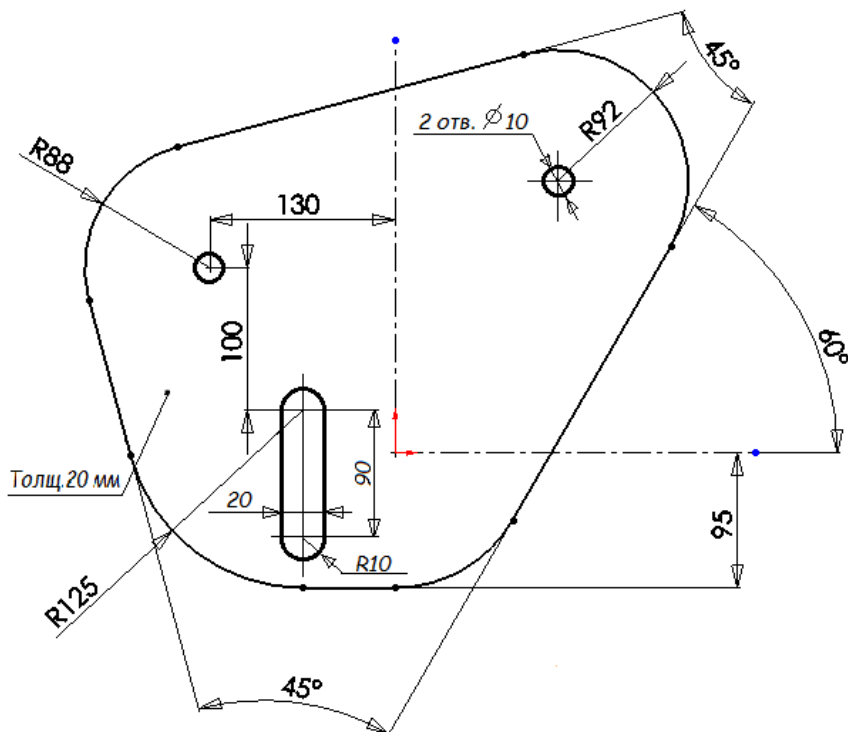
Сталь 35

№23



Сталь 40XH

№24



Сталь 20X

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблицы режимов резания

Таблица 1 - Твердость обрабатываемого материала по Бринелю НВ

Сталь углеродистая и легированная					
Марка стали	Твердость НВ	Марка стали	Твердость НВ	Марка стали	Твердость НВ
35	144 – 156	20Х	170	50Х	245
40	156 – 190	35Х	185	50Г	232
25	185 – 215	40Х	205	18ХГТ	156 – 159
50	215 – 269	45Х	226	30ХГС	207 – 217
Серый чугун			Ковкий чугун		
Группа твердости	Марка отливки	Твердость НВ	Группа твердости	Марка отливки	Твердость НВ
1	СЧ 15	190	1	КЧ30-6	163
	СЧ 20	200		КЧ30-10	149
2	СЧ 25	210	2	КЧ35-10	208
	СЧ 30	220		КЧ40-3	208
Медные сплавы					
Марка	Твердость НВ	Марка	Твердость НВ	Марка	Твердость НВ
Л-60	100	ЛО62-1	100	БРАЖ10-4	180
ЛС59-1	90	БРА Ж9-4	150	БРКН1-3	90
Алюминиевые сплавы					
АЛ-2	50	АЛ5-1	70	АЛ7	60
АЛ-4	70	АК5М7	80	АЛ19	90

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

 Таблица 2 - Подача **S** для черного наружного точения, мм/об

t, мм	Диаметр детали, мм	Обрабатываемый материал	
		Сталь	Чугун, Медные, алюминиевые сплавы
До 3	до 20	0.3 – 0.4	0.3 – 0.4
	40	0.4 – 0.5	0.4 – 0.5
	60	0.5 – 0.7	0.6 – 0.8

 Таблица 3 - Глубина резания **t** при чистовой обработке материалов

Обрабатываемая поверхность	t, мм
Наружный диаметр	0.7 – 0.8
Торец при точении к центру	0.6 – 0.8
Торец при точении от центра	0.15 – 0.20

 Таблица 4 - Скорость резания **V** при точении проходными резцами, м/мин.

t, мм	S, мм/об	Обрабатываемый материал					
		Сталь		Медные и Алюминиевые сплавы		Серый чугун	Ковкий чугун
		Материал инструмента					
		Твердые сплавы	Быстрорежущая сталь		Твердый сплав		
До 1	0.3	150	48	125	255	100	115
	0.5	130	40	106	210	88	105
	0.8	120	33	81	180	80	93
2.5	0.3	120	35	99	180	80	94
	0.5	105	27	78	150	70	82
	0.8	93	22	63	135	60	70

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

 Таблица 5 - Подача **S** при чистовом точении резцами с пластинами из твердого сплава или быстрорежущей стали, мм/об

Шероховатость Ra, мкм	Обрабатываемый материал	V, м/мин	Радиус при вершине резца r, мм	
			0.5	1.0
10 – 5	Сталь углеродист и легирован.	<50	0.3 – 0.5	0.45 – 0.6
		>50	0.4 – 0.55	0.55 – 0.65
	Чугун бронза и алюминиевые сплавы	Vmin ...Vmax	0.26 - 0.4	0.40 – 0.50
5 – 2.5	Сталь углеродист и легирован.	<50	0.18 – 0.25	0.25 – 0.3
		>50	0.25 – 0.3	0.3 – 0.35
	Чугун бронза и алюминиевые сплавы	Vmin ...Vmax	0.15 – 0.25	0.25 – 0.4

Таблица 6 - Подача **S** для прорезке и отрезке, мм/об.

Диаметр обработки, мм	Ширина резца, мм	Обрабатываемый материал			
		Закаленная сталь с твердостью HRC		Сталь и стальное литье	Чугун
		50	50		
до 20	1.3	0.06	0.04	0.05 – 0.1	0.11 -0.14
до 40	3	0.08	0.05	0.10 – 0.12	0.16 – 0.19
до 60	3 – 6	0.1	0.08	0.13 – 0.16	0.20 – 0.024

Таблица 7- Скорость резания V , м/мин при прорезке и отрезке твердосплавными резцами при подаче S

Твердость обрабатываемого материала													
Сталь конструкционная углеродистая и легированная								Чугун					
								Ковкий				серый	
S , мм/об	126 – 140	141 – 158	159 – 177	178 – 200	201 – 226	227 – 255	256 – 286	149 – 163	до 201	163 – 220	140 – 229	170 – 256	197 – 269
0.09	245	218	193	172	153	136	120	100	84	75	75	66	59
0.12	193	172	153	136	120	107	95	89	75	66	66	59	52
0.16	153	136	120	107	95	85	75	79	66	59	59	52	46
0.22	120	107	95	85	75	67	59	70	59	52	52	46	41
0.29	95	85	75	67	59	53	47	62	52	46	46	41	36

0.39	75	67	59	53	47	42	37	55	46	41	41	36	32
0.52	59	53	47	42	37	33	29	49	41	36	36	32	29

Таблица 8 - Поддачи и скорость резания при сверлении сверлами из быстрорежущей стали

Диаметр сверла, мм	Материал заготовки			
	Сталь с		Серый чугун твердостью 190 НВ	
	Подача мм/об	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об	Скорость резания, м/мин
10...15	0,10...0,20	40...25	0,15...0,35	35...25
15...20	0,15...0,30	35...23	0,30...0,60	27...21
20...25	0,20...0,35	30...20	0,40...0,80	24...20
25...30	0,25...0,50	25...18	0,50...1,0	23...18

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

 Таблица 9 - Скорости резания V , м/мин, при нарезании резьбы резьбовыми резцами в заготовках из различных материалов

Материал заготовки	Шаг резьбы p , мм		
	1	2	3
Углеродистые конструкционные стали S	$\frac{20 \dots 40}{80 \dots 120}$	$\frac{20 \dots 40}{80 \dots 100}$	$\frac{20 \dots 40}{70 \dots 90}$
Легированные стали C	$\frac{20 \dots 25}{65 \dots 90}$	$\frac{20 \dots 25}{65 \dots 80}$	$\frac{20 \dots 25}{60 \dots 70}$
Инструментальные и быстрорежущие стали	$\frac{15 \dots 25}{30 \dots 50}$	$\frac{15 \dots 25}{30 \dots 50}$	$\frac{15 \dots 25}{30 \dots 50}$
Чугуны	$\frac{20 \dots 30}{40 \dots 50}$	$\frac{20 \dots 40}{45 \dots 55}$	$\frac{25 \dots 40}{45 \dots 60}$

 Таблица 10 - Поправочный коэффициент K_1 на скорость резания при обработке стали

Марка обрабатываемой стали	Твердость HB	Материал режущей части инструмента	
		Быстрорежущая сталь	Твердый сплав
35;40;45;50	156 – 207	1.0	1.0
	170 – 229	0.85	0.9
	207 – 269	0.65	0.75
20X;35X;40X;45X;50X;	135 – 179	1.05	1.1
	170 – 217	0.75	0.9
	207 – 255	0.6	0.75
50Г; 18ХГТ; 30ХГС	149 – 170	0.9	0.95
	170 – 229	0.7	0.8
	229 – 269	0.55	0.7

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

 Таблица 11- Поправочный коэффициент **K1**, на скорость резания при обработке чугуна

Вид обрабатываемого чугуна	Твердость HB	Условия работы	
		Без корки	По корке
Серый чугун	163 – 229	1.0	0.8
	170 – 241	0.9	0.7
Ковкий чугун	130 – 170	1.0	0.7
	207 – 229	0.64	0.55

 Таблица 12 - Предельные значения параметра **t x B**, мм², при фрезеровании концевыми и шпоночными фрезами

Диаметр D фрезы, мм	Материал заготовки		
	Конструкционные стали и чугуны		Алюминиевые сплавы
	Материал режущей части фрезы		
	Быстрорежущая сталь	Твердый сплав	Быстрорежущая сталь
8	65	—	100
12	100	65	140
16	140	100	200
20	200	140	300
25	300	200	400
32	400	300	600
36...63	600	400	1 000

 Таблица 13 - Поддачи на зуб **Sz**, мм/зуб, при фрезеровании заготовок из чугуна концевыми фрезами из быстрорежущей стали

$t \times B$, мм ²	Диаметр D,						
	8	12	16	20	25	32	32
5	0,09	0,15	0,21	0,29	—	—	—
10	0,08	0,12	0,18		0,3		
15	0,07	0,11	0,16		0,22		

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

20		0,10	0,14	0,20	0,24	0,26	0,29
30	0,06	0,09	0,13	0,19	0,22	0,24	0,26
40	0,05	0,08	0,12	0,16	0,19	0,22	0,24
50	0,04	0,07	0,10	0,14	0,17	0,19	0,22
65		0,06	0,09	0,12	0,15	0,17	0,19
80		0,05	0,08	0,11	0,13	0,15	0,18
100		0,04	0,07	0,09	0,12	0,13	0,16
140			0,06	0,08	0,10	0,12	0,14
200		—	0,06	0,07	0,08	0,10	

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

 Таблица 14 - Поддачи на зуб S_z , мм/зуб, при фрезеровании заготовок из алюминиевых сплавов концевыми фрезами из быстрорежущей стали

t x B, мм ²	Диаметр D фрезы, мм								
	8	12	16	20	25	32	36... 63		
5	0,10	0,16	0,22	0,32	—	—	—		
10	0,09	0,13	0,19	0,30					
15	0,08	0,11	0,17	0,23	0,29	0,31			
20	0,07	0,10	0,16	0,22	0,27	0,30	0,31		
30	0,06	0,09	0,14	0,21	0,23	0,27	0,29		
40	0,05	0,08	0,13	0,17	0,21	0,23	0,26		
50	0,07	0,07	0,12	0,14	0,18	0,21	0,23		
65	0,03	0,06	0,10	0,13	0,16	0,18	0,21		
80			0,09	0,12	0,14	0,16	0,19		
100	—	0,05	0,08	0,10	0,13	0,14	0,17		
140		0,04	0,05	0,09	0,12	0,13	0,16		
200		—	—	0,04	0,08	0,10	0,12	0,13	
300				—	—	0,06	0,08	0,10	0,12
400						0,06	0,08	0,10	0,12
600		—	—	—	—	—	0,05	0,08	
1000		—	—	—	—	—	—	0,04	

 Таблица 15 - Поддачи на зуб S_z , мм/зуб, при фрезеровании заготовок из стали концевыми фрезами из быстрорежущей стали

t x B, мм ²	Диаметр D, мм, фрезы						
	8	12	16	20	25	32	36...63
5	0,08	0,12	0,17	0,24	—	—	—
10	0,07	0,10	0,15	0,20	0,25		
15	0,06	0,09	0,13	0,18	0,22	0,24	
20	0,05		0,12	0,17	0,20	0,22	0,29

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

30	0,04	0,08	0,11	0,16	0,18	0,20	0,22
40		0,07	0,10	0,13	0,16	0,18	0,20
50	0,03	0,06	0,09	0,11	0,14	0,16	0,18
65		0,05	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16
80	—		0,07	0,09	0,11	0,12	0,15
100		0,04	0,06	0,08	0,10	0,11	0,13
140		—	0,05	0,07	0,09	0,10	0,12
200			—	0,06	0,08	0,09	0,10

Таблица 16 - Скорость резания V , м/мин, и эффективная мощность резания $N_{эф}$ кВт при фрезеровании заготовок из стали концевыми фрезами из быстрорежущей стали

Отношение T/D	Параметр	Подача S_z мм/зуб							
		0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,16	0,20	0,25
0,10	V	54	47	43	41	39	35	34	32
	$N_{эф}$	0,8			0,9			1,1	1,2
0,25	V	44	38	35	33	32	29	28	26
	$N_{эф}$	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,7	1,9	2,0
0,50	V	38	33	30	28	27	25	24	23
	$N_{эф}$	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0	2,4	2,6	2,8
0,75	V	34	30	28	26	25	23	22	21
	$N_{эф}$	2,2	2,4	2,5	2,5	2,6	3,2	3,4	3,8
1,00	V	26	22	21	20	19	17	16	16
	$N_{эф}$	2,2	2,3	2,4	2,5	2,5	3,1	3,4	3,7

ПП производств мехатронных и робототехнических узлов. Оборудование роботизированных производств.

 Таблица 17- Скорость резания V , м/мин, и эффективная мощность резания $N_{эф}$ кВт при фрезеровании заготовок из серого чугуна концевыми фрезами из быстрорежущей стали.

Отношение T/D	Параметр	Подача S_z мм/зуб							
		0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,16	0,20	0,25
0,10	V	66	58	53	50	48	42	37	32
	$N_{эф}$	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6
0,25	V	44	32	35	33	32	29	25	21
	$N_{эф}$	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8
0,50	V	32	28	26	24	23	21	18	16
	$N_{эф}$	0,4	0,6	0,7	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0
1,00	V	22	19	18	17	16	12	11	9
	$N_{эф}$	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1	1,1

 Таблица 18- Скорость резания V , м/мин, и эффективная мощность резания $N_{эф}$ кВт при фрезеровании заготовок из алюминиевых сталей концевыми фрезами из быстрорежущей стали

Отношение T/D	Параметр	Подача S_z мм/зуб							
		0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,16	0,20	0,25
0,10	V	183	106	147	139	133	121	116	111
	$N_{эф}$	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,25	V	139	121	112	106	101	92	88	84
	$N_{эф}$	0,4	0,6	0,7	0,9	1,0	1,2	1,4	0,6
0,50	V	113	99	91	86	82	75	71	68
	$N_{эф}$	0,6	0,9	1,1	1,3	1,4	1,8	2,1	2,3
0,75	V	100	87	80	76	73	66	63	60
	$N_{эф}$	0,8	1,1	1,4	1,6	1,8	2,3	2,6	2,9
1,00	V	74	64	59	56	53	49	46	44
	$N_{эф}$	0,7	1,0	1,3	1,5	1,7	2,2	2,4	2,7