

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования

«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра машиностроения и эксплуатации автомобилей

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ **к практическим работам**

по дисциплине «Технология обработки на станках с ЧПУ»
для студентов специальности 1–36 01 01 «Технология машиностроения»

БРЕСТ 2020

УДК621.91.002

Методические указания предназначены для оказания помощи студентам при выполнении практических работ по дисциплине «Технология обработки на станках с ЧПУ», а также могут использоваться при выполнении курсовых проектов по дисциплинам: «Технология машиностроения (отраслевая)», «Технология станкостроения».

1. Определение уровня экономической эффективности от внедрения станков с ЧПУ при токарной обработке заготовок

Цель работы: определить степень эффективности обработки поверхностей детали на станках с ЧПУ. Сделать заключение о целесообразности применения станков с ЧПУ для обработки заготовки на определенных технологических операциях.

Внедрение станков с ЧПУ для автоматизации ТП механической обработки позволяет обрабатывать детали такой же широкой номенклатуры, как и на универсальных станках соответствующих типов, но с меньшими затратами. Эффективность станков с ЧПУ объясняется их высокой производительностью.

Кроме того, повышается производительность труда обслуживающего персонала, сокращаются потребности в специальной технологической оснастке и режущих инструментах. Сокращаются оборотные средства, вкладываемые в незавершенное производство, высвобождаются значительные производственные площади.

При использовании станков с ЧПУ вместо универсальных производительность труда значительно повышается за счет сокращения вспомогательного времени на переустановку и измерение обрабатываемой детали, за счет оптимизации режимов резания, одновременного использования в работе нескольких инструментов.

Снижению себестоимости обработки деталей на станках с ЧПУ способствует централизация разработки технологии и составление управляющих программ с применением средств автоматизации. При этом используются базовые техпроцессы и типовые подпрограммы.

Основными источниками экономической эффективности обработки на станках с ЧПУ являются:

1. Сокращение нормы вспомогательного времени на выполнение операции;
2. Снижение затрат на изготовление режущего инструмента и технологической оснастки;
3. Снижение затрат на подготовку управляющей информации для обработки сложных фасонных поверхностей;
4. Увеличение доли основного времени в штучном (для универсальных станков с ручным управлением $T_0 \approx 0,3 T_{шт.}$, для станков с ЧПУ $T_0 \approx 0,7 T_{шт.}$);
5. Высокая степень концентрации операций.

О целесообразности применения станков с ЧПУ ориентировочно можно судить при необходимости выполнения следующих видов обработки:

- 1) обработка очень сложных уникальных деталей, с большим количеством фасонных поверхностей;
- 2) обработка заготовок обычных машиностроительных деталей с точностью по IT 6–8 с параметром шероховатости Rz 3–10 мкм, при условии, что заготовки поступают на обработку партиями по 15–25 шт.

Таким образом, наиболее целесообразным является применение станков с ЧПУ в условиях единичного, мелкосерийного и среднесерийного типа производства, когда требуется оперативность в переналадке оборудования на выпуск изделий нового типа.

Степень эффективности обработки на станках с ЧПУ растёт с повышением сложности детали и увеличением объема или количества технологических переходов. Это характеризуется коэффициентом конструктивно-технологической сложности детали $C_{КТ}$

$$C_{КТ} = 0,02 \sum_{i=1}^k \beta_i, \quad (1.1)$$

где k – количество конструктивных элементов заготовки, обрабатываемых на рассматриваемой операции; β_i – весовой коэффициент, определяющий относительную трудоемкость обработки i -го конструктивного элемента заготовки на станке с ручным управлением в сравнении с трудоемкостью обработки на станке с ЧПУ.

Ход выполнения работы

1. Проанализировать деталь с точки зрения сложности её поверхностей и их количества.
2. Сгруппировать поверхности детали по признакам, приведённым в таблице 1.1. Присвоить каждой поверхности детали весовой коэффициент, определяющий относительную трудоемкость её обработки.
3. Определить степень целесообразности применения станков с ЧПУ для обработки поверхностей детали.
4. Сделать вывод о целесообразности применения станка с ЧПУ для обработки детали на определенной технологической операции (степень целесообразности определяется условно как низкая, средняя или высокая).

Таблица 1.1 – Значение весовых коэффициентов, учитывающих трудоёмкость обработки различных поверхностей

Тип поверхности	β_i
Цилиндрическая наружная и торцовая	1
Цилиндрическая внутренняя	1,5
Коническая наружная	1,8
Коническая внутренняя	2
Резьба наружная	5
Резьба внутренняя	7
Фасонная наружная	10
Фасонная внутренняя	12

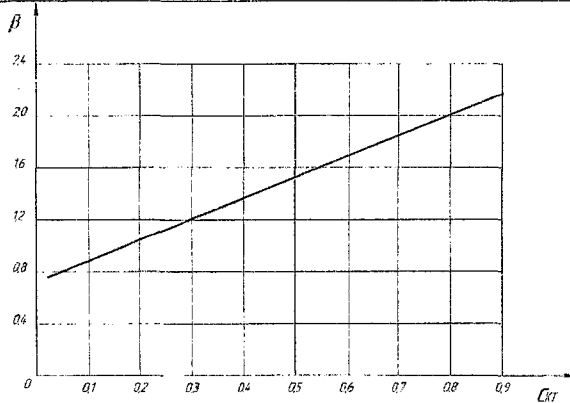


Рисунок 1.1 – Зависимость относительной трудоёмкости обработки поверхностей от коэффициента конструктивно-технологической сложности детали

2. Погрешности обработки, вызываемые размерным износом инструмента

Цель работы: определить максимальную партию заготовок, обрабатываемых в период между переналадками станка с ЧПУ.

Исходные данные: чертеж детали или операционный эскиз обработки, марка обрабатываемого материала, марка инструментального материала.

Размерный износ инструмента является одной из составляющих общей погрешности обработки и измеряется по нормали к обрабатываемой поверхности. На размерный износ влияют обрабатываемый материал, материал режущей части инструмента, его конструкция, геометрия и состояние режущей кромки, режимы обработки, жесткость технологической системы и другие факторы.

Обобщенных значений размерного износа инструмента от этих факторов в виде определенных зависимостей не выведено. Поэтому при определении размерного износа инструмента для обрабатываемой партии деталей обычно исходят из ориентировочных значений относительного износа или задаются допустимым размерным износом инструмента для конкретного вида обработки.

Основной участок зависимости размерного износа инструмента от длины пути резания является линейным. В связи с этим на основном участке данной зависимости можно принять за характеристику размерного износа инструмента относительный (удельный) износ на 1000 м пути резания – (u_0 , мкм/км).

Длину пути резания L_D , м, при точении одной заготовки можно определить по формуле:

$$L_D = \frac{\pi D l_D}{1000s}, \quad (2.1)$$

где D – диаметр обрабатываемой поверхности, мм; l_D – длина обрабатываемой поверхности, мм; s – подача, мм/об.

Длина пути резания L_N для партии заготовок n , обрабатываемых в период между подналадками станка, будет:

$$L_N = L_D n. \quad (2.2)$$

Для того чтобы учесть более интенсивное изнашивание в начальный период обработки (на первом участке зависимости размерного износа инструмента от длины пути резания), принято условно увеличивать расчетную длину резания на 1000 м. Тогда полная длина пути резания на партию заготовок будет:

$$L = L_N + 1000. \quad (2.3)$$

Размерный износ инструмента ориентировочно можно определить по формуле:

$$\Delta u = \frac{L}{1000} u_0, \quad (2.4)$$

где u_o – относительный размерный износ инструмента. Относительный размерный износ инструмента принимается по нормативным или экспериментальным данным с учетом конкретных условий выполнения операции.

Ориентировочные значения относительного и допустимого размерного износа инструмента приведены в таблицах 2.1, 2.2.

Таблица 2.1 – Относительный размерный износ u_o резцов при чистовом точении различных конструкционных материалов, мкм/км

Материал режущей части инструмента	Углеродистая сталь	Легированная сталь	Серый чугун	Чугун HB 375-400
T60K6	0,7–4	0,7–4	–	–
T30K4	3–7	4–7	–	–
T15K6	5–8	9–12	–	–
T5K10	8–12	12–15	–	–
BK9	–	65–70	–	–
BK8	–	17–25	13–16	–
BK6	–	–	14–17	–
BK4	–	25–30	–	–
BK3	–	9–13	6–9	16–20
BK2	–	–	4–26	12–16

ПРИМЕЧАНИЕ. Меньшие значения относительного размерного износа соответствуют чистовой обработке, большие – черновой. Данные получены при следующих условиях обработки: углеродистая сталь – $\sigma_b = 500\text{--}600$ МПа, скорости резания $v_p = 100\text{--}400$ м/мин; сталь легированная – $\sigma_b = 920\text{--}1100$ МПа, скорости резания $v_p = 100\text{--}200$ м/мин; серый чугун – HB 187–207, скорости резания $v_p = 50\text{--}150$ м/мин; данные для закаленного чугуна относятся к тонкому растачиванию [СТМ т. 1].

Таблица 2.2 – Допустимый размерный износ $\Delta u_{доп}$ инструмента при обработке партии заготовок, мкм

Выдерживаемый размер, мм	Вид обработки			
	Черновая	Чистовая	Тонкая	Однократная
До 30	30–80	15	2	20
Св. 30 до 80	45–120	20	3	25
– 80–180	60–150	30	6	30
– 180–360	75–200	40	10	40
– 360–500	90–250	50	15	50

* определение величины партии заготовок рекомендуется выполнить с помощью редактора Microsoft Office Excel.

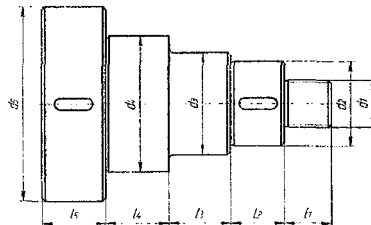


Рисунок 2.1 – Ступенчатый вал

Таблица 2.3 – Исходные данные для расчета

№ п/п	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	l ₁	l ₂	l ₃	l ₄	l ₅	Марка обработ. материала	Марка инструм. материала
1	10	20	25	35	50	12	25	30	35	25	Сталь 45	T15K6
2	20	30	40	45	55	20	30	15	15	25	Сталь 40X	T15K6
3	25	28	30	35	60	15	20	15	12	25	Сталь 30X	T30K4
4	22	30	35	40	55	16	22	25	10	15	C415	BK6
5	10	15	20	25	40	14	20	13	30	20	C430	BK8
6	15	25	30	40	60	15	20	25	20	30	12X13	T60K4
7	20	30	38	45	65	20	15	25	30	20	10XСНД	T30K4
8	15	22	30	40	55	17	22	20	15	20	25XГМ	T30K6
9	10	20	24	35	50	20	30	22	25	20	C420	BK3
10	15	25	35	40	60	22	25	30	20	15	14Г2	T30K4
11	10	20	35	45	65	23	20	30	35	20	Сталь 50	T15K6
12	12	25	32	40	45	20	18	35	28	30	30XГСА	T15K6
13	18	24	28	36	48	17	20	28	30	30	20X	T15K6
14	11	25	30	32	45	15	25	22	24	34	C410	BK3
15	14	16	24	38	52	20	23	32	35	30	KЧ 30-6	BK6
16	16	20	25	38	45	22	30	18	32	45	KЧ 50-5	BK9
17	18	28	32	45	50	25	28	20	30	34	10Г2	T15K6
18	24	28	36	46	52	22	24	28	35	40	12XН3А	T30K4
19	16	24	28	32	40	18	17	30	25	35	C435	BK8
20	14	18	30	40	48	20	25	22	30	34	KЧ 37-12	BK6

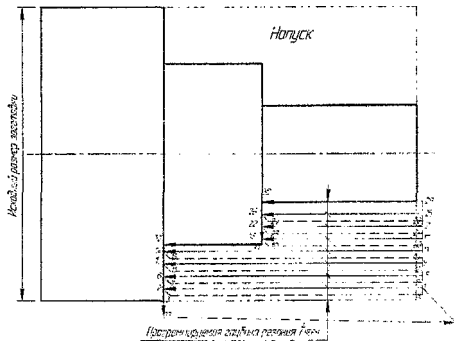


Рисунок 2.2 – Схема удаления напуска и черного припуска из полукрытой зоны обработки

3. Влияние условий обработки на точность поверхности при растачивании отверстия на горизонтально-расточном станке с ЧПУ

Цель работы: выбрать режимы обработки и параметры расточной консольной оправки так, чтобы величина максимального смещения режущей кромки вследствие упругих отжатий инструмента не превышала 0,25δ (величины допуска) на размер обрабатываемого отверстия. При оптимизации режимов обработки необходимо обеспечить требуемую точность при максимально возможной производительности.

Влияние условий обработки на точность деталей может быть установлено аналитически или экспериментально.

При аналитическом исследовании исходным является уравнение, устанавливающее взаимосвязь между смещением режущей кромки инструмента $\Delta r(P)$ и составляющими силового воздействия:

$$\Delta r(P) = \sum_q A_q P_q. \quad (3.1)$$

Оператор преобразования A_q и силовое воздействие P_q в общем случае имеют сложную структуру. В данном расчете ограничимся рассмотрением простейшей технологической системы, когда оператор A_q равен податливости технологической системы. Таким образом, при растачивании отверстия консольной оправкой выражение (3.1) можно представить в следующем виде:

$$\Delta r(P_x, P_y) = A_x P_x + A_y P_y = \Delta r(P_x) + \Delta r(P_y), \quad (3.2)$$

где:

$$A_x = -1,5 \frac{l_a}{l} \frac{l^3}{3EJ_x}, \quad (3.3)$$

$$A_y = \frac{l^3}{3EJ_x}, \quad (3.4)$$

где P_q – величина силы резания, определяемая по эмпирической формуле в зависимости от режимов и условий обработки, Н; P_x, P_y – осевая и радиальная составляющие силы резания (также определяются по эмпирическим формулам); l_a – расстояние от точки приложения составляющей силы резания P_x до оси оправки; l – длина оправки; E – модуль упругости материала оправки (можно принять в качестве материала оправки сталь марки 40Х с модулем упругости $E = 2,5 \times 10^5$ МПа); J_x – момент инерции поперечного сечения оправки, определяемый по формуле:

$$J_x = \frac{\pi d_{\text{опр}}^4}{64}. \quad (3.5)$$

Порядок выполнения расчета:

1. Принять стандартную оправку, выбрать материал режущей части;
2. По справочнику принять режимы резания для выполнения заданной операции, считая операцию как окончательную, а отверстие предварительно подготовленное;
3. Выполнить расчет максимального смещения вершины инструмента относительно идеального положения с учетом принятых режимов;
4. По результатам расчета сделать вывод о возможности выполнения обработки с принятыми параметрами, ограничив допустимое отжатие настроечной точки инструмента на величину, не превышающую 0,25 величины допуска размера обрабатываемого отверстия;
5. После получения результатов и их анализа, исходные параметры режимов резания и геометрии оправки подлежат оптимизации. Выбор режимов резания и параметров расточной оправки необходимо выполнять с точки зрения обеспечения максимальной производительности обработки и требуемого качества обработанной поверхности;
6. Сделать общий вывод по теме работы;
7. *Разработать алгоритм оптимизации исходных данных и реализовать его в редакторе Microsoft Office Excel (пункт выполняется как дополнительный).

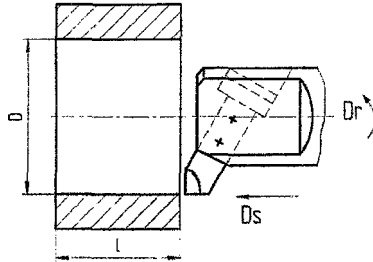


Рисунок 3.1 – Схема растачивания отверстия на проход

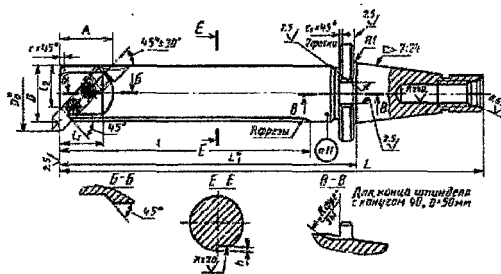


Рисунок 3.2 – Оправка расточная консольная

Таблица 3.1 – Оправки расточные консольные с креплением резца под углом 45° и хвостовиком конусностью 7:24 (№40) ГОСТ 21226-75

Обозначение оправок	Применяемость	Диаметр растачивания D_0	Обозначение конуса	D	Сечение резца	L	A	L_1	l	l_1	l_2	k
6300-0901		От 30 до 45	40	25	8x8	190	25	96,6	70	22	20	3
6300-0902		От 40 до 55		32	10x10	200	33	106,6	80	28	24	
6300-0903								206,6	180			
6300-0904		От 50 до 65	40	12x12	240	40	146,6	140	32	30		
6300-0905							266,6	240				
6300-0906		От 60 до 85	50	16x16	260	50	166,6	140	40	36	3	
6300-0907							326,6	300				

Таблица 3.2 – Исходные данные для расчета

Вариант №	Обрабатываемый материал	Диаметр исходного отверстия D_1 , мм	Окончательный диаметр отверстия D , мм	Квалитет	Глубина отверстия l , мм	Вид обработки
1	Сталь 45	33	35	H8	110	На проход
2	Сталь 40X	53	55	H7	115	В упор
3	СЧ30	63	65	H8	120	На проход
4	12X18H9T	73	75	H7	150	В упор
5	СЧ15	75	76	H8	123	На проход
6	14X17H2	68	70	H7	130	В упор
7	Сталь 40XH	78	80	H8	155	На проход
8	У10	54	55	H7	98	В упор
9	12X21H5T	43	45	H8	112	На проход
10	Сталь50	78	80	H7	134	В упор
11	ХН78Т	58	60	H8	117	На проход
12	12ХГСА	68	70	H7	123	В упор
13	14ХМЗА	55	56	H8	108	На проход
14	20Х23Н18	48	50	H7	95	В упор
15	Сталь 30	38	40	H8	87	На проход
16	У12А	52	54	H7	88	В упор
17	14Г2	56	58	H8	98	На проход
18	30ХГСА	76	78	H7	121	В упор
19	25ХГМ	70	72	H8	113	На проход
20	50ХГ	38	40	H7	132	В упор
21	10ХСНД	32	33	H8	108	На проход
22	30Х	46	48	H7	115	В упор
23	СЧ30	72	74	H8	135	На проход
24	У8А	38	40	H7	115	В упор
25	Сталь 30Х	31	33	H8	120	На проход

4. Проектирование операции механической обработки с применением фрезерного станка с ЧПУ

Цель работы: спроектировать технологическую операцию механической обработки поверхностей детали на фрезерном станке с ЧПУ.

Технологические процессы обработки деталей с применением станков с ЧПУ отличаются повышенной степенью детализации, что связано с необходимостью точной увязки траектории автоматического движения режущего инструмента с системой координат станка, исходной точкой и положением заготовки.

Проектирование технологических процессов, реализуемых на станках с ЧПУ, обычно разделяют на три стадии: 1) разработка технологического маршрута изготовления детали; 2) разработка технологического процесса по операциям; 3) подготовка управляющей программы. Каждая из этих стадий проектирования включает в себя комплекс типовых мероприятий, направленных на оптимизацию разрабатываемого технологического процесса.

На этапе разработки технологических операций в определенном порядке выполняются типовые действия, приведенные в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Содержание этапов разработки операционной технологии

Стадия II (разработка технологического процесса по операциям)	
Этап	Содержание этапа
1. Составление плана операций.	Определение содержания операций. Разделение операций на установки и позиции. Уточнение метода закрепления заготовки. Подготовка операционных карт.
2. Разработка операционной технологии	Определение последовательности выполнения переходов. Разделение переходов на ходы. Окончательный выбор режущих инструментов. Выбор контрольных точек. Определение траекторий позиционных и вспомогательных ходов. Расчет режимов резания. Подготовка карт наладки станка и инструмента.

При проектировании фрезерных операций для обработки заготовок на станках с ЧПУ элементы контура обрабатываемых деталей могут быть разделены на основные и дополнительные. К дополнительным поверхностям относят сопрягающие поверхности с постоянным и переменным радиусами сопряжения. Для обеспечения более высокой степени технологичности сопряжения элементов контура детали должны выполняться с одинаковым радиусом. Назначенный радиус сопряжения должен быть типовым для данного контура или детали. Минимальный радиус сопряжения r_{\min} , назначается с учетом определенного соотношения между этим радиусом и типовым радиусом $R_{\text{тип}}$ на контуре, регламентирующем максимально допустимый диаметр фрезы для чистовых переходов.

При фрезеровании можно выделить определенные области (зоны) обработки. Они делятся на открытые, полуоткрытые, закрытые и комбинированные.

К числу открытых относятся области, не налагающие ограничений на перемещения инструмента вдоль его оси или в плоскости, перпендикулярной к этой оси.

В полуоткрытых областях перемещения инструмента ограничены как вдоль оси, так и в плоскости, ей перпендикулярной.

В закрытых областях перемещение инструмента ограничено по всем направлениям.

Комбинированные области формируются в результате объединения нескольких областей различных типов из числа описанных выше.

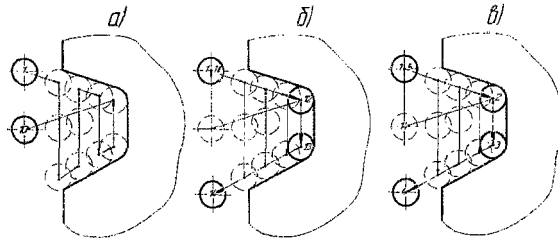
При программировании фрезерной обработки вышеперечисленных областей используют типовые схемы технологических переходов, определяющие правила построения траектории инструмента.

Типовые схемы движения инструмента при удалении черного припуска на фрезерных операциях

Чаще всего типовые схемы движения инструмента при обработке заготовок на станках с ЧПУ разрабатываются с учетом удобства формализации. Можно выделить следующие основные методы формообразования траектории фрезы.

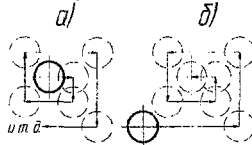
1. Зигзагообразный. Данный способ является наиболее распространенным, хотя имеет ряд недостатков, из которых можно выделить: а) переменный характер резания; б) повышенное число изломов на обработанной поверхности.

Зигзагообразный метод имеет три разновидности: а) без обхода границ; б) с проходом вдоль границы контура в конце обработки; в) с проходом вдоль границы контура в начале обработки. Типовые схемы движения инструмента для зигзагообразного метода показаны на рисунке 4.1.



а) без обхода границ; б) с проходом вдоль границы контура в конце обработки;
в) с проходом вдоль границы контура в начале обработки
Рисунок 4.1 – Зигзагообразный метод удаления припуска и напуска

2. **Спиралевидный.** Этот способ обеспечивает более плавный режим работы, что позволяет получить поверхность с меньшим числом изломов. Существуют две разновидности спиралевидного метода: а) от центра к периферии; б) от периферии к центру. Типовые схемы движения инструмента для спиралевидного метода показаны на рисунке 4.2.



а) от центра к периферии; б) от периферии к центру
Рисунок 4.2 – Спиралевидный метод удаления припуска и напуска

3. **Ш-образный метод.** Этот способ обычно применяется при обработке открытых плоскостей. По этому методу инструмент сначала линейно перемещается на рабочей подаче вдоль обрабатываемой поверхности. Затем отводится по нормали от обрабатываемой поверхности, выполняет обратный быстрый ход, смещается на один шаг и снова подводится к обрабатываемой поверхности. После этого цикл повторяется. Типовая схема движения инструмента для Ш-образного метода показана на рисунке 4.3.

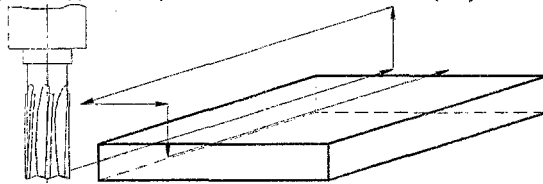


Рисунок 4.3 – Ш-образный метод удаления припуска и напуска

Встречное и попутное фрезерование. Назначение глубины резания при чистовом проходе. Выбор инструмента при контурном фрезеровании

При чистовом контурном фрезеровании концевыми фрезами на станках с ЧПУ применяют как встречную, так и попутную схему фрезерования. При встречном фрезеровании стойкость инструмента и параметр шероховатости обрабатываемой поверхности ниже, чем при попутном фрезеровании. Но при встречном фрезеровании деформация

фрезы и детали меньше, чем при попутном, поэтому припуск может быть назначен в размере до 30 % от диаметра фрезы. В данном случае обработку контура можно выполнять за один проход с большой глубиной резания, что повысит производительность.

Глубину резания при контурном фрезеровании назначают исходя из величины минимальных радиусов сопряжений внутренних элементов контура. Для повышения точности обработки внутренних радиусов их получают не копированием, а обходом по дуге. Это связано с тем, что при изменении направления подачи скачком изменяется величина и направление силы резания. В данном случае это может привести к упругому отжатию фрезы от обрабатываемой поверхности и искажению контура. Кроме того, фреза имеет износ по диаметру, что также может повлиять на точность обработки контура.

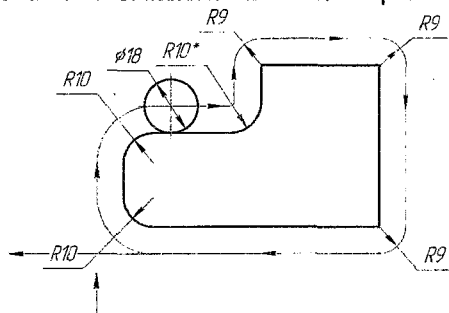


Рисунок 4.4 – Схема выбора диаметра фрезы для чистового контурного фрезерования

При назначении диаметра фрезы для обработки контура без ограничений по внутренним радиусам исходят из соображений максимальной производительности. При этом назначают максимально возможный диаметр фрезы.

Обработка отверстий на фрезерных станках с ЧПУ

Технологические возможности современных фрезерных станков с ЧПУ кроме обработки плоскостей, различных контуров, пазов и уступов, позволяют планировать выполнение на них типовых переходов обработки отверстий стержневыми инструментами, таких как сверление, зенкерование, нарезание резьбы, растачивание и развертывание. При этом в зависимости от модели станка обеспечивается точность межцентровых расстояний 0,1...0,05 мм.

Основные и дополнительные элементы отверстий

Конфигурация любого отверстия может быть сформирована из основных и дополнительных элементов.

Большинство основных элементов – это цилиндрические отверстия с точностью диаметрального размера IT6...IT14. Основные элементы отверстий могут быть глухими и сквозными (гладкие сквозные, с фаской и без фаски, глухие, конические глухие и сквозные, с резьбой и без нее). Дно глухого отверстия может иметь плоский или произвольный характер.

Дополнительные элементы отверстий – это фаски, углубления прямоугольного профиля со свободными размерами, наружные и внутренние торцы, требующие обработки, канавки и т. д.

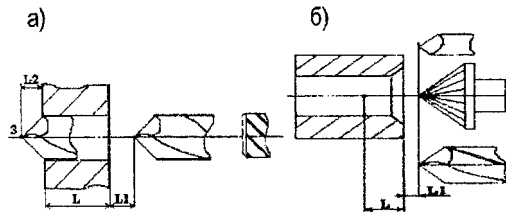
Заготовки под отверстия бывают трех типов: сплошная, с литым отверстием, с предварительно обработанным отверстием. Из простых отверстий составлены сложные. Каждое отверстие отделяется друг от друга торцовыми поверхностями. Торцы обычно нумеруются (от которых производится отсчет размеров при обработке). Каждая выделенная ступень может быть обработана за один или несколько проходов.

Общая схема обработки отверстий

Как правило, имеется определенная последовательность обработки, которая включает следующие типовые действия (рис. 4.5):

1. Позиционирование стола в плоскости X, Y;
2. Быстрый подвод инструмента вдоль оси Z в начальную точку;
3. Рабочий ход (чаще всего в режиме постоянного цикла);
4. Возврат в начальную точку;
5. Позиционирование стола или смена инструмента.

Недобег L_1 обычно принимается 1...3 мм, величина перебега L_2 зависит от рабочего конуса инструмента и принимается равной длине режущей части инструмента +1 мм запаса. Характер движения инструмента от начальной точки до точки выхода и обратно зависит от типа применяемого постоянного цикла.



а) обработка на проход; б) обработка в упор

Рисунок 4.5 – Схема перемещения инструмента при реализации постоянных циклов обработки отверстий

Типовые переходы при обработке отверстий

Технологические переходы обработки отверстий выполняются по типовым схемам, которые имеют ряд общих признаков:

1. Большинство переходов осуществляется за один проход. Многопроходная обработка применяется обычно для сверления глубоких отверстий при соотношении длины отверстия к диаметру $\frac{l}{d} \geq 3$.

2. Траектория движения инструмента в пределах одного прохода состоит из участков рабочего и вспомогательного хода. Рабочий ход включает недоход, участок резания и перебег (при обработке глухих отверстий перебег отсутствует).

3. Недоход принимают обычно равным 1...3 мм для предварительно обработанных поверхностей и 5...10 мм для необработанных поверхностей.

4. Перебег зависит от размера рабочего конуса инструмента и принимается больше его длины на 1...3 мм.

5. На участке резания траектория движения инструмента может иметь промежуточные опорные точки, которые характеризуются изменением частоты вращения шпинделя и величины подачи, либо выполнением включения-выключения или реверса вращения шпинделя.

6. Вспомогательный ход включает быстрый подвод инструмента к обрабатываемому отверстию и его возврат в исходную точку.

На выбор последовательности переходов при обработке отверстий может оказать влияние ряд следующих факторов: конфигурация отверстий; допустимые отклонения диаметров и относительного положения осей отверстий; число групп одинаковых отверстий; возможности станка с ЧПУ. Возможности станка с ЧПУ при этом характеризуются точностью и продолжительностью позиционирования стола, временем смены инструмента, а также числом позиций револьверной головки или емкостью инструментального магазина.

Состав операций и общее количество переходов обработки отверстий зависит от конкретных производственных условий. Для определения количества переходов также можно воспользоваться таблицами средне-экономической точности.

Последовательность обхода отверстий инструментами

Общую последовательность выполнения переходов для всей совокупности обрабатываемых отверстий в каждом конкретном случае следует выбирать исходя из допусков на межцентровые расстояния, а также из условия сведения к минимуму времени на вспомогательные перемещения и смену инструмента. При этом различают две типовые схемы обхода отверстий:

1. Параллельная схема обхода – заключается в том, что одним инструментом обрабатываются все одинаковые отверстия, затем производится смена инструмента, и цикл обработки повторяется.

2. Последовательная схема обхода – заключается в том, что каждое отверстие обрабатывается полностью по всем переходам в одной позиции стола. Затем производится позиционирование и выполняется полная обработка следующего отверстия.

От варианта схемы обхода отверстий существенно зависит переменная доля технологической нормы времени, которая складывается из продолжительности позиционирования и времени смены инструментов. Обработка одинаковых отверстий с небольшим количеством переходов производится обычно по параллельной схеме.

Последовательная схема обхода предпочтительна для отверстий с жестким допуском на межцентровые расстояния, для окончательных переходов (развертывание, нарезание резьбы). Последовательная схема обхода осуществляется также для основных отверстий, требующих выполнения большого числа переходов (отверстия сложной формы и отверстия высокой степени точности). Используя последовательную схему для обработки таких отверстий, можно исключить погрешность позиционирования.

Последовательность позиционирования определяется выбором кратчайшего пути обхода отверстий. При этом учитывается модель станка и возможный характер перемещений исполнительных органов: по каждой координате отдельно или одновременно по двум–трем координатам.

Программирование операций механической обработки на фрезерных станках с ЧПУ

Исходными документами для подготовки управляющей программы являются чертеж детали, операционный эскиз, расчетно-технологическая карта (РТК) и операционные технологические карты с информацией о заготовке, станке с ЧПУ, приспособлении, методах и режимах обработки, применяемых режущих, вспомогательных инструментах, последовательности технологических и вспомогательных переходов.

Разработка программы включает несколько этапов:

1. Выбор систем координат детали и инструментов;
2. Выбор центров инструментов, разработка траекторий движений инструментов и расчет координат их опорных точек;
3. Кодирование информации о перемещениях инструментов и условиях обработки, формирование кадров программы;
4. Ввод программы в устройство ЧПУ или запись на программноноситель;
5. Наладка станка с ЧПУ на обработку по составленной программе, привязка систем координат детали и инструмента к системе координат станка.
6. Отработка программы в тестовом режиме и ее корректировка.
7. Обработка пробной детали и корректировка программы.

Программирование обработки выполняется с привязкой траектории движения настроенной точки инструмента к системе координат станка. Для станков сверлильной, расточной и фрезерной групп стандартной является 3-координатная система X,Y,Z. За ее начало принимается базовая точка стола в одном из его крайних положений или точка на пересечении поверхности стола с осью его вращения для поворотных столов. Направление координатных осей при этом зависит от компоновки станка.

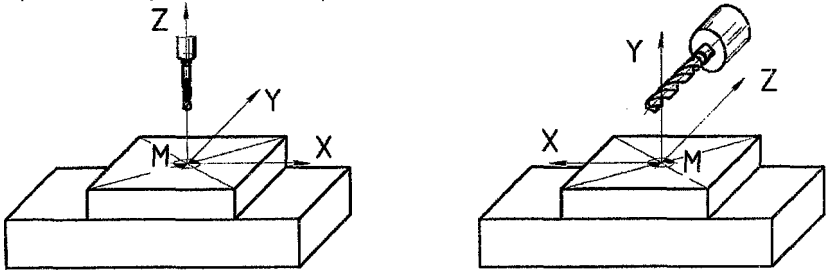


Рисунок 4.6 – Типовые системы координат фрезерных, сверлильных и расточных станков с ЧПУ

При разработке управляющей программы обработки координаты точек траектории инструмента удобно задавать, используя чертеж детали, операционный эскиз или расчетно-технологическую карту (РТК) (т. е. используется система координат детали, без учета размеров станка и оснастки). Пример расчетно-технологической карты (РТК) показан на рисунке 4.7.

Система координат детали (СКД) предназначена для задания координат опорных точек обрабатываемых поверхностей, а также координат опорных точек траектории инструмента. Опорными при этом считаются точки начала, конца, пересечения или каса-

ния геометрических элементов, которые составляют контур детали и влияют на траекторию инструмента на переходах обработки.

Для упрощения разработки УП при выборе системы координат детали целесообразно:

- 1) направление осей координат детали принимать таким же, как и направление осей координат станка;
- 2) координатные плоскости совмещать с поверхностями технологических баз или располагать параллельно;
- 3) начало системы координат выбирать таким, чтобы все или большая часть координат опорных точек имели положительные значения;
- 4) координатные оси совмещать с осями симметрии детали или выносными линиями, относительно которых проставлено наибольшее число размеров.

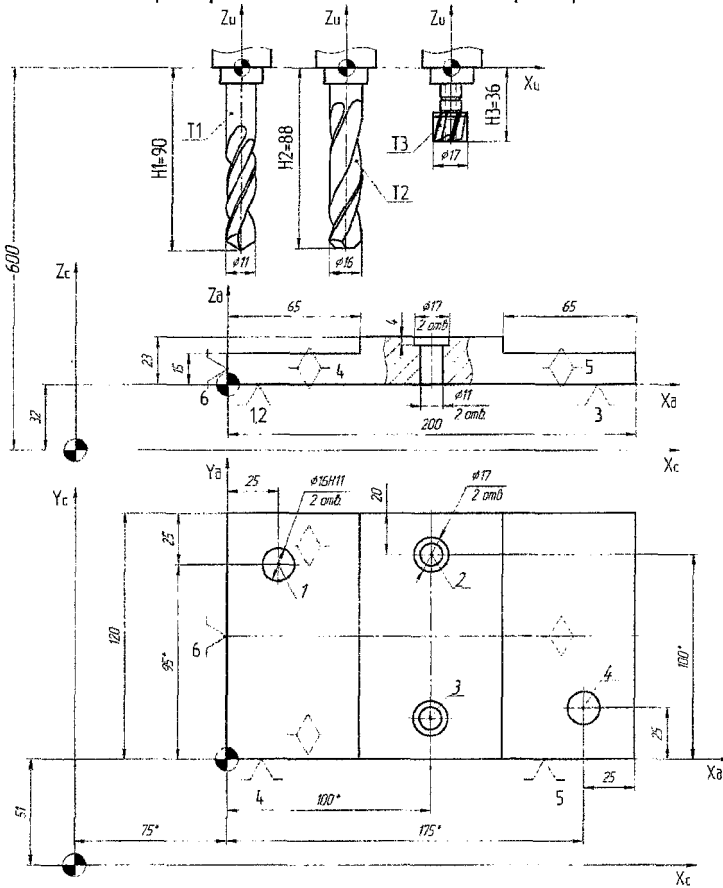


Рисунок 4.7 – Пример расчетно-технологической карты для станка с ЧПУ с вертикальной компоновкой шпинделя

Каждый конкретный тип УЧПУ характеризуется так называемым форматом, т. е. принятым (рекомендуемым) порядком расположения слов в кадре управляющей программы и структурой каждого слова в отдельности.

В общем случае формат УП должен записываться с соблюдением определенных правил, а символы и слова программы указываются в определенной последовательности. В конкретных УЧПУ значение тех или иных функций может отличаться от рекомендуемых стандартом. Это оговаривается конкретной методикой программирования.

Пример разработки управляющей программы в формате УЧПУ Heidenhain iTNC530

Информацию о системах управления технологическим оборудованием Heidenhain можно получить на официальном сайте <https://www.heidenhain.ru>.

Одним из преимуществ СЧПУ данного производителя является доступность официальных beta-версий программных станций для установки на ПК и их самостоятельного изучения. В дополнение к программным станциям компания Heidenhain предлагает методику HIT Klartext, в которой подробно на примерах рассмотрены основные принципы управления станком и программирования обработки в формате СЧПУ iTNC530. Данными УЧПУ оснащаются фрезерные и многоцелевые станки.

Программирование и управление станком с помощью УЧПУ iTNC520 схоже с программированием в форматах TNC320 и TNC620. В отличие от устройств TNC320 и TNC620, УЧПУ iTNC520 имеет сенсорную панель (Touchpad), а также алфавитную клавиатуру.

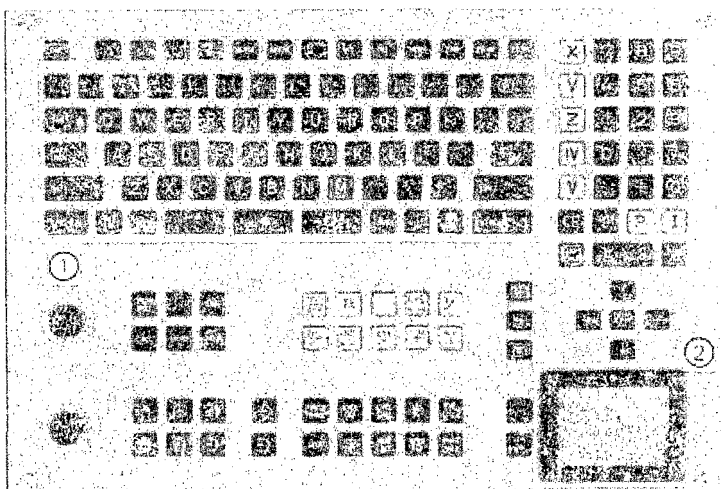


Рисунок 4.8 – Панель СЧПУ iTNC530

Рассмотрим порядок действий при создании управляющей программы в формате iTNC530 для детали «Полумуфта», показанной на рисунке 4.9.



Рисунок 4.9 – 3D-модель детали «Полумуфта»

1. Разработаем маршрутно-операционный технологический процесс обработки с учетом мелкосерийного типа производства. Принимаем заготовку плиту – толщиной 50 мм. Технологический маршрут сводим в таблицу.

Таблица 4.1 – Технологический маршрут обработки детали «Плита»

№ Оп.	Наименование	Краткое содержание
1	2	3
001	Гидроабразивная DWJ13/15/20-FB	Нарезать плиту на штучные заготовки 3204×204 мм
005	Транспортная Электрокар	Доставить штучные заготовки на участок механической обработки
010	Вертикально-фрезерная с ЧПУ VMC320	1. Установить заготовку в приспособление и закрепить боковыми прихватами; 2. Контролировать положение заготовки в системе координат станка, внести коррекцию положения; 3. Сверлить отверстие $\varnothing 16$ на проход; 4. Рассверлить отверстие $\varnothing 40$ на проход; 5. Останов, выход инструмента на безопасное расстояние, режим ожидания; 6. Закрепить заготовку через центральное отверстие, снять боковые прихваты; 7. Фрезеровать цилиндр по программе, выдерживая размер $\varnothing 200$; 8. Фрезеровать цилиндр по программе, выдерживая размеры $\varnothing 70 \times 20$; 9. Фрезеровать внешний контур по программе, выдерживая размеры согласно эскизу; 10. Фрезеровать 3 паз 16×14 по программе, выдерживая размеры согласно эскизу; 11. Фрезеровать 3 паз 22×14 по программе, выдерживая размеры согласно эскизу; 12. Открепить, снять деталь, положить в тару; 13. Контроль исполнителем – 10 %.

Продолжение таблицы 4.1 – Технологический маршрут обработки детали «Плита»

1	2	3
015	Слесарная Верстак слесарный	Зачистить заусенцы, притупить острые кромки
020	Моечная Машина моечная	Промыть детали в моющем растворе
025	Контрольная Стол ОТК	Проверить размеры согласно ОК контроля
030	Транспортная Электрокар	Доставить годные детали на СГП

2. Выполним операционный эскиз

На операционном эскизе показываем схему базирования, систему координат детали, получаемые размеры с предельными отклонениями и параметром шероховатости. В рассматриваемом примере считаем, что параметры точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей могут быть достигнуты однократной обработкой лезвийным инструментом.

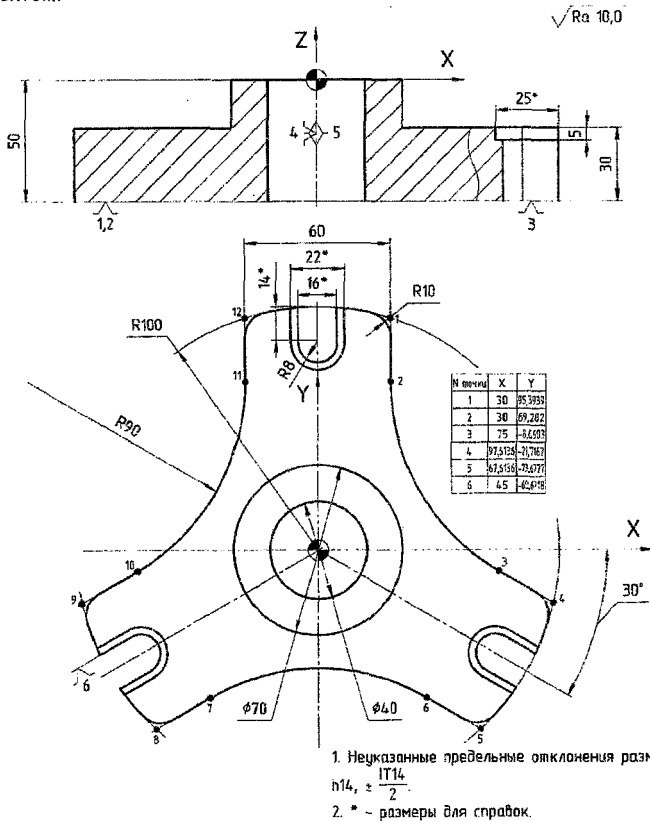


Рисунок 4.10 – Операционный эскиз обработки детали «Полумфта» на операции 010

3. Запускаем программную станцию iTNC530. Поле запуска необходимо выполнить сброс данных нажатием клавиши «**CE**» в нижнем правом углу рабочего поля программы. Затем необходимо продублировать сброс данных нажатием клавиши «**CE**» на виртуальной клавиатуре (рис.4.11).

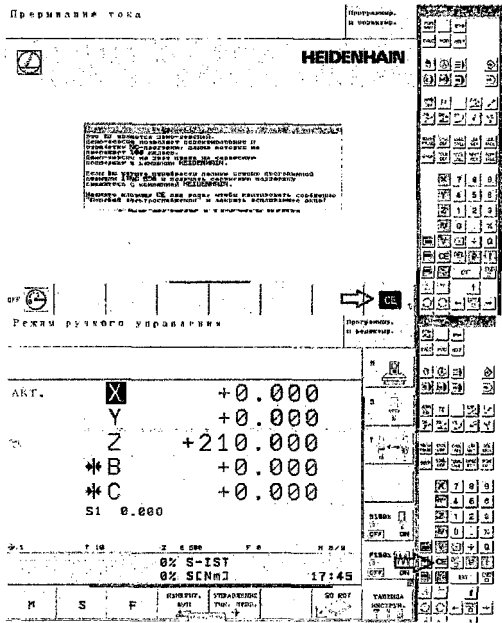


Рисунок 4.11 – Окно запуска программной станции iTNC530

4. Система по умолчанию находится в режиме ручного управления. Находясь в режиме ручного управления, переключаемся на вкладку «Программирование и редактирование». Клавиша для переключения показана на рисунке 4.12.

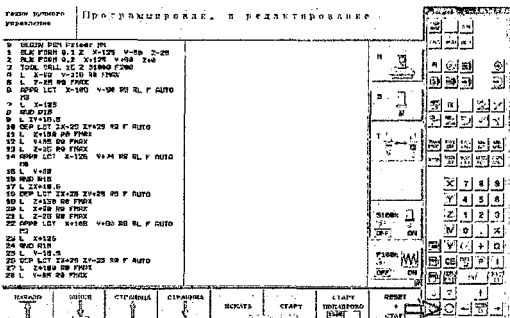


Рисунок 4.12 – Переключение в режим программирования и редактирования

5. Находясь в режиме «Программирование и редактирование», запускаем администратор файлов (кнопка «**PGM_MGT**», рис. 4.13) и создаем файл новой программы. Имя файла программы в формате Heidenhain iTNC 530 должно состоять из букв латинского алфавита и цифр в произвольном сочетании. В конце имени файла обязательно должна стоять точка и литера «Н», например, имя файла «*zadacha1*» записываем так: *zadacha1.H*.

После этого откроется панель способа задания размеров, либо в «*mm*», либо в «*inch*», выбираем «*mm*».



Рисунок 4.13 – Кнопка включения администратора файлов

6. После завершения создания нового файла система автоматически переходит в диалог задания контура заготовки «**BLK_FORM**» (Blank Form). Контур заготовки в формате Heidenhain iTNC 530 может быть задан только в форме прямоугольного параллелепипеда. При этом последовательно задается сначала положение левой нижней вершины *min*, а затем правой верхней вершина *max* относительно принятого нуля СКД (рис. 4.14).

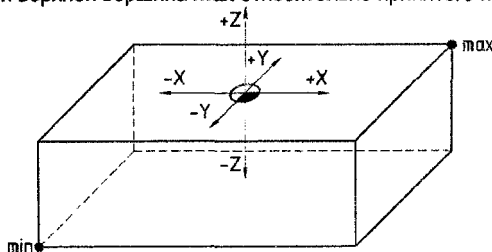


Рисунок 4.14 – Система координат детали в формате Heidenhain iTNC 530

Положение контура заготовки относительно нуля принимаем исходя из удобства определения координат опорных точек траектории движения центра инструмента. Нулевая точка заготовки (детали) обычно располагается на верхней плоскости, и все отрицательные координаты вдоль оси Z соответствуют положению настроечной точки инструмента «в металле».

Поскольку деталь «Полумуфта» имеет симметричную конструкцию, нулевую точку удобно расположить на поверхности заготовки в точке пересечения оси детали и верхней плоскости. Кадры управляющей программы в формате Heidenhain iTNC 530, задающие крайние точки заготовки, будут иметь вид:

```
0 BEGIN PGM Polumufta MM
1 BLK FORM 0.1 Z X-102 Y-102 Z-50 – координаты точки min
2 BLK FORM 0.2 X+102 Y+102 Z+0 – координаты точки max
```

7. Программируем обработку детали «Полумуфта» в соответствии с принятой технологией. Основы программирования для УЧПУ Heidenhain iTNC 530 подробно изложены в «Heidenhain_Klartext_Основы фрезерования».

Таблица 4.2 – Вариант УП обработки детали «Полумуфта» в формате УЧПУ Heidenhain iTNC 530

0	BEGIN PGM Z_Polumufta.1 MM	31 L X=30 R0 FMAX	62 CVCL DEF 10.0 POUOROT
1	BLK FORM #.1 Z X-102 V-102 Z-50	32 L Z=35 R0 FMAX	63 CVCL DEF 10.1 ROT=30
2	BLK FORM #.2 X+102 V+102 Z+0	33 APPR LCT X+0 V+100 R10 RL F AUTO	64 L X+110 V+0 R0 FMAX
3	TOOL CALL # 2 S1000 F150	34 CC X+0 V+0	65 L Z=35 R0 FMAX
4	L X+0 V+0 Z+50 R0 FMAX	35 C X+30 V+85.3939 DR-	66 L X+80 R0
5	L Z+2 R0 FMAX	36 RND R10	67 L X+110 R0 FMAX
6	Z-55 R0 F AUTO MS	37 L X+30 V+89.282	68 L Z+5 R0 FMAX
7	L Z+2 R0 FMAX	38 CT X=75 V=0.8893	69 CVCL DEF 10.0 POUOROT
8	TOOL CALL # 2 Z 3500 F150	39 L X+87.8138 V=-21.7182	70 CVCL DEF 10.1 ROT=30
9	L X+0 V+0 Z+50 R0 FMAX	40 RND R10	71 L X-110 V+0 R0 FMAX
10	L Z+2 R0 FMAX	41 C X+87.8138 V=-73.8777 DR-	72 L Z-55 R0 FMAX
11	L Z-55 R0 F AUTO MS	42 RND R10	73 L X-80 R0
12	L Z+2 R0 FMAX	43 L X+45 V=-80.8218	74 L X-110 R0 FMAX
13	TOOL CALL # 2 S500 F150	44 CT X=45 V=-80.8218	75 L Z+5 R0 FMAX
14	L X-140 V-10 Z+70 R0 FMAX	45 L X-87.8138 V=-73.8777	76 TOOL CALL # 1 Z 3500 F150
15	L Z-55 R0 FMAX	46 RND R10	77 L X-115 V+0 Z+50 R0 FMAX
16	APPR LCT X-100 V+0 R10 RL F AUTO	47 C X-87.8138 V=-21.7182	78 L Z-25 R0 FMAX
17	MS	48 RND R10	79 L X-80 R0 MS
18	CC X+0 V+0	49 L X-75 V=0.8893	80 L X-115 R0 FMAX
19	C X-100 V+0 DR-	50 CT X=20 V+89.282	81 L Z+5 R0 FMAX
20	DEP LCT X-130 V+20 R10 F AUTO	51 L X=30 V+85.3939	82 CVCL DEF 10.0 POUOROT
21	L Z=20 R0 FMAX	52 RND R10	83 CVCL DEF 10.1 ROT=30
22	C X-100 V+0 R0	53 C X+0 V+100 DR-	84 L X+115 V+0 R0 FMAX
23	C X-100 V+0 DR-	54 DEP LCT X+30 V+130 R10	85 L Z-25 R0 FMAX
24	L X-75	55 L Z+150 R0 FMAX	86 L X+80 R0
25	C X-75 V+0 DR-	56 TOOL CALL # 2 S900 F100	87 L X+115 R0 FMAX
26	L X-80	57 L X+0 V+110 Z+100 R0 FMAX	88 L Z+5 R0 FMAX
27	C X-80 V+0 DR-	58 L Z=55 R0 FMAX	89 CVCL DEF 10.0 POUOROT
28	L X=61	59 L X+0 V+80 R0 MS	90 CVCL DEF 10.1 ROT=0
29	L Z=10	60 L V+110 R0 FMAX	91 L X+0 V+115 R0 FMAX
30	L V+130 R0 FMAX	61 L Z+5 R0 FMAX	92 L Z-25 R0 FMAX
			93 L V+80 R0
94	L V+115 R0 FMAX		
95	L Z+100 R0 FMAX		
96	END PGM Z_Polumufta.1 MM		

Список цитируемых источников

- Гжиров, Р. И. Программирование обработки на станках с ЧПУ: Справочник/ Р. И. Гжиров, П. П. Серебrenицкий. – Л.: Машиностроение, 1990. – 588 с.
- Бондаренко, Ю. А. Технология изготовления деталей на станках с ЧПУ: Уч. пособие – ТНТ, 2016. – 292 с.: ил.
- Серебrenицкий, П. П. Программирование автоматизированного оборудования: Справочное пособие – Москва: Дрофа. 2008. – 301 с.: ил.
- Жолобов, А. А. Программирование процессов обработки поверхностей на станках с ЧПУ: уч. пособие – Могилев: Белорус.-Рос. ун.-т, 2009. – 339 с.: ил.
- Каштальян, И. А. Обработка на станках с числовым программным управлением: Справ. Пособие / И. А. Каштальян, В. И. Клевзович. – Минск: Выш. Шк., 1989.– 271 с.:ил.
- Кондаков, А. И. Выбор заготовок в машиностроении: Справочник / А. И. Кондаков, А. С. Васильев. – М.: Машиностроение, 2007. – 560 с.
- Кузнецов, Ю. И. Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник / Ю. И. Кузнецов, А. Р. Маслов, А.Н. Байков. – М.: Машиностроение, 1983. – 359 с.
- Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ. – М.: Экономика, 1990. – Ч.2: Нормативы режимов резания.
- Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. / под ред. А. М. Дальского. – М.: Машиностроение, 2003. – Т.1. – 911 с.
- Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. / под ред. А. М. Дальского. – М.: Машиностроение, 2003. Т.2. 941 с.
- Сайт Heidenhain <https://www.heidenhain.ru>
- DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH HIT « Основы фрезерования K1artext», 2013.

Учебное издание

Составители:
Кудрицкий Ярослав Владимирович
Ялковский Николай Степанович

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ к практическим работам

по дисциплине «Технология обработки на станках с ЧПУ»
для студентов специальности 1–36 01 01 «Технология машиностроения»

Ответственный за выпуск: Кудрицкий Я.В.
Редактор: Боровикова Е. А.
Корректор: Никитчик Е. В.
Компьютерная верстка: Митлошук М. А.

Подписано в печать 12.11.2020 г. Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага «Performer».
Гарнитура «Arial». Усл. печ. л. 1,4. Уч. изд. л. 1,5. Заказ № 1092. Тираж 21 экз.
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.