

621

Р84

М. А. РУРА, А. Г. ЕЛИСАВЕТСКИЙ

СБОРНИК ЗАДАНИЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ для наладчиков и операторов станков с программным управлением



М. А. РУРА, А. Г. ЕЛИС

СБОРНИК ЗАДАНИЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ для наладчиков и операторов станков с программным управлением

Допущено
Государственным комитетом СССР
по народному образованию в качестве
учебного пособия для профессионально-
технических училищ



Москва
«Высшая школа» 1991

ББК 34.5

Р 87

УДК 621

Рецензенты: инж. Ф. А. Орлов, инж. Г. В. Славин

Рура М. А., Елисаветский А. Г.

Р 87 Сборник заданий по технологии машиностроения для наладчиков и операторов станков с программным управлением: Учеб. пособие для ПТУ. — М.: Высш. шк., 1991. — 108 с.: ил.

ISBN 5-06-000929-7

Содержит индивидуальные задания по расчету режимов резания, стойкости инструмента, машинного времени при выполнении операций на токарных, фрезерных, сверлильных и шлифовальных станках с ЧПУ. Для каждого типа заданий, выполняемых с помощью программируемого микрокалькулятора, выбрана конкретная математическая зависимость и изложены принципы составления программ на языке программы, комментарии к ней и последовательность ввода программы на входном языке микрокалькулятора.

Учебное пособие может быть использовано при обучении рабочим на производстве.

Р 2704000000(4307000000) — 161 61—90
052(01) — 91

ББК 34.5
6115.4

ISBN 5-06-000929-7

© М. А. Рура, А. Г. Елисаветский, 1991

ПРЕДИСЛОВИЕ

Сборник предназначен для обучения наладчиков и операторов металлорежущих станков с программным управлением. В нем применительно к различным процессам механической обработки резанием даны задания, целью которых является определение основных параметров режимов резания (частоты вращения, подачи, периода стойкости и др.), времени обработки или других величин, например массы срезаемой стружки. Все задания, выполняемые методами программирования с использованием математических моделей процессов, осуществляют межпредметную связь трех учебных курсов: «Технология машиностроения», «Автоматизация на основе электронно-вычислительной техники», «Основы информатики и вычислительной техники». Сборник может быть использован в ходе занятий по всем трём предметам: при изучении первого из них — для правильного расчета параметров режима резания и других величин, при изучении двух других — в качестве источника учебных примеров.

Задания охватывают различные процессы так называемой лезвийной обработки — обработки инструментами с геометрически определенной режущей кромкой: точение, токарную отрезку, растачивание, цилиндрическое и торцовое фрезерование, сверление, зенкерование, т. е. именно те операции, которые учащийся выполняет в процессе производственного обучения.

Программы расчетов усложняются от задания к заданию по мере их изложения. В сборнике использованы следующие типы программ: линейная, линейная с непрерывным изменением аргументов, «Пакет формул», с условными переходами типа $x \geq 0$ и $x = 0$, с подпрограммой, с циклом, с косвенной адресацией. Выполнение расчетов ориентировано на использование программируемых микрокалькуляторов типа «Электроника БЗ-34» или аналогов МК-54, МК-56, МК-52. Навык работы с программируемыми микрокалькуляторами существенно повышает уровень подготовки учащихся.

Авторы

1. ТОКАРНАЯ ОБРАБОТКА НАРУЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ. ЛИНЕЙНАЯ ПРОГРАММА

Наружное продольное точение является одной из наиболее распространенных операций механической обработки на станках с ПУ.

1.1. Характеристика операций

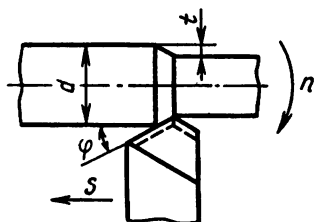


Рис. 1. Схема наружного продольного точения*

Характерные особенности операции: свободное, непрерывное резание; относительно большая жесткость системы СПИД (станок — приспособление — инструмент — деталь); длительные по времени рабочие ходы.

Критерии эффективности. При черновом точении за такой критерий принят съем металла в единицу времени, поэтому обработку следует производить с максимально допустимыми подачей на оборот и глубиной резания, зависящими от мощности станка и жесткости системы СПИД.

При чистовом точении за критерий эффективности принята шероховатость обработанной поверхности. В этом случае обработка производится с ограниченной подачей и максимально допустимой скоростью резания, зависящей от стойкости инструмента.

* Параметры, соответствующие принятым обозначениям и в тексте условным обозначениям, указаны в приложении 1 (табл. 10-1).

1.2. Режимы резания

v , м · мин⁻¹ — скорость резания, т. е. скорость вращательного движения контактирующей с режущим инструментом точки обрабатываемой заготовки;

S , мм/об — подача на оборот, т. е. прямолинейное перемещение режущей кромки вдоль оси обрабатываемой заготовки за один ее оборот;

t , мм — глубина резания, т. е. расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренное перпендикулярно оси заготовки;

T , мин — период стойкости резца, т. е. время между его переточками.

Скорость резания v (м · мин⁻¹) зависит от частоты вращения n и диаметра d обрабатываемой заготовки. Связь между этими параметрами определяется уравнением

$$v = \frac{\pi d n}{10^3}. \quad (1)$$

Регулирование скорости резания осуществляется изменением частоты вращения в зависимости от условий обработки. Частота вращения n (мин⁻¹) определяется из уравнения (1):

$$n = \frac{10^3}{\pi d} v. \quad (2)$$

Скорость резания, называемую обычно оптимальной, принято определять либо по таблицам с учетом поправочных коэффициентов, либо по экспериментальным уравнениям, которые обладают большей «чувствительностью» к условиям обработки. Уравнение оптимальной скорости резания v (м · мин⁻¹) при наружном продольном точении имеет следующий вид:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x S_y} K_v, \quad (3)$$

где C_v — коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого материала; K_v — комплексный коэффициент, зависящий от материала инструмента, типа заготовки и состояния ее поверхности; m , x , y — показатели степени для величин T , t и S . Числовые значения C_v , K_v , m , x и y , определяемые экспериментально, приведены в различных справочных изданиях [3, 8].

Из уравнения (3) можно вывести следующее урав-

нение для расчета оптимальной частоты вращения n (мин⁻¹) заготовки при наружном точении:

$$n = \frac{10^3}{\pi d} \cdot \frac{C_v}{T^m t^x S^y} K_v. \quad (4)$$

Это уравнение довольно сложно по структуре и, кроме того, показатели степени m , x и y почти всегда являются нецелыми числами, однако в ряде заданий, предлагаемых в данном разделе, учащийся должен определить оптимальную частоту вращения заготовки, используя уравнение (4). В заданиях рассматривается наружное продольное точение заготовок из углеродистой конструкционной стали, ковкого чугуна, медного и алюминиевого сплавов резцами из быстрорежущей стали Р18 с охлаждением (Аквол-10М, -12, -11) и без него. Значения коэффициента C_v и показателей степени m , x и y приведены в табл. 1.

1. Значения коэффициента C_v и показателей степени уравнения (4)

Обрабатываемый материал	Показатель механических свойств	Условия обработки	S , мм/об	C_v	x	y	m
Сталь	$\delta_b=750$ МПа	С охлаждением	0,25	87,5	0,25	0,33	0,125
Ковкий чугун	HB 190			106	0,2		
Медный сплав	HB 100...140	Без охлаждения	0,2	270	0,12	0,25	0,23
Алюминиевый сплав	HB<65			480			0,28

Поправочный коэффициент K_v представляет собой произведение трех коэффициентов:

$$K_v = K_{m_v} K_{p_v} K_{i_v}, \quad (5)$$

где K_{m_v} , K_{p_v} и K_{i_v} — коэффициенты, учитывающие соответственно свойства материала обрабатываемой заготовки, состояние поверхности последней и сочетание обрабатываемого материала с материалом инструмента.

Условия обработки в заданиях данной серии подобраны таким образом, что поправочный коэффициент $K_v=1$. Значения коэффициентов K_{p_v} и K_{i_v} для других условий обработки указаны в табл. 2. Рекомендуемые значения продольной подачи при черновом и чистовом точении приведены соответственно в табл. 3 и 4.

2. Значения поправочных коэффициентов уравнения (5)

Обрабатываемый материал					
Конструкционная сталь	Серый и ковкий чугуны	Медные и алюминиевые сплавы			
Значения $K_{мв}$					
1	1,05	0,8			
Обработка без корки (все материалы)	Обработка по корке				
	Стальная поковка	Стальное и чугунное литье	Медное и алюминиевое литье		
Значения $K_{пв}$					
1	0,8	0,85	0,9		
Обрабатываемый материал					
Конструкционная сталь	Серый и ковкий чугуны	Медные и алюминиевые сплавы			
Материал инструмента					
T15K6	T5K10	P18	BK4	P18	BK4
Значения $K_{нв}$					
1	0,65	1	1,1	1	2,5

3. Рекомендуемые значения продольной подачи S (мм/об) при черновом точении

Диаметр d заготовки, мм	Размеры корпуса резца, мм	Глубина резания t , мм		
		До 3	Свыше 3 до 5	Свыше 5 до 8
1	2	3	4	5
До 20	От 16×25	0,3...0,4	—	—
Свыше 30 до 40	До 25×25	0,4...0,5	0,3...0,4	
Свыше 40 до 60	От 16×25 до 25×40	0,5...0,9	0,4...0,8	0,3...0,7
		0,6...0,9	0,5...0,8	0,4...0,7

1	2	3	4	5
Свыше 60 до 100	От 16×25 до 25×40	0,6...1,2	0,5...1,1	0,5...0,9
		0,8...1,4	0,7...1,2	0,6...1
Свыше 100 до 400		0,8...1,3		
		1...1,5	0,8...1,9	0,8...1,1

Примечание. В числителе приведены значения подачи при обработке конструкционной стали, в знаменателе — при обработке чугуна.

4. Значения продольной подачи S (мм/об) при чистовом точении

Параметр шероховатости, мкм		Радиус R при вершине резца, мм		
R_a	R_z	0,4	1,2	2
0,8	—	0,07	0,12	0,15
1,6		0,1	0,16	0,21
3,2		0,14	0,24	0,32
6,3	20	0,25	0,42	0,55

Указанные значения подач рекомендуются при обработке чугуна и стали с временным сопротивлением $\sigma_b = 700...900$ МПа. В случае обработки стали с другими механическими свойствами подачу корректируют, умножая приведенные в табл. 3 и 4 значения на соответствующие коэффициенты: $K_{\sigma_s} = 0,75$ (для стали с $\sigma_b = 500...700$ МПа); $K_{\sigma_s} = 1,25$ (для стали с $\sigma_b = 900...1100$ МПа).

1.3. Инструмент

Инструментом при наружном продольном точении служат проходные прямые или отогнутые резцы и подрезные резцы с напайваемыми перетачиваемыми либо механически закрепляемыми многогранными пластинами из быстрорежущей стали или твердого сплава. Задания на продольное точение составлены с учетом использования проходных резцов с пластинами из быстрорежущей стали P18 и титановольфрамового твердого сплава Т15К6.

5. Значения поправочных коэффициентов на скорость резания

φ , град	K_{φ}	φ_1 , град	K_{φ_1}	R , мм	K_R
20	1,4	10	1	1	0,94
30	1,2	15	0,97	2	1
45	1	20	0,94	3	1,03
60	0,9	30	0,91	4	1,08
90	0,7	45	0,87	5	1,13

Основными параметрами геометрии резца являются следующие: передний угол γ ; задний угол α ; главный угол в плане φ (см. рис. 1); вспомогательный угол в плане φ_1 ; радиус R при вершине резца. В значительной степени скорость резания зависит от углов φ и φ_1 , а для резцов из быстрорежущей стали — еще и от радиуса R . Влияние этих параметров на скорость резания учитывается с помощью поправочных коэффициентов K_{φ} , K_{φ_1} и K_R , значения которых даны в табл. 5.

Данная серия заданий составлена с учетом использования резцов с $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 10^\circ$ и $R = 2$ мм, т. е. $K_{\varphi} = K_{\varphi_1} = K_R = 1$.

1.4. Задания № 1...5

Постановка задачи: определить оптимальную частоту вращения n заготовки при заданных условиях обработки.

Цель задания: выявить зависимость частоты вращения заготовки от обрабатываемого материала.

Переменные факторы: обрабатываемый материал (внутри одного задания); диаметр обрабатываемой заготовки, подача и глубина резания (от задания к заданию).

Постоянные факторы: материал инструмента; отсутствие охлаждения; период стойкости инструмента.

В каждом задании определяют частоту вращения заготовки (переменный фактор — обрабатываемый материал) при соответствующих значениях ее диаметра, подачи и глубины резания, которые являются постоянными факторами конкретного задания, но изменяются (все три или два из трех) от задания к заданию.

Условия заданий № 1...5 приведены в табл. 6, где также даны значения коэффициента C_v и показателей степени x , y и m уравнения (4).

6. Условия заданий № 1...5

№ за-да-ния	Обраба-тываемый материал	Показа-тель механи-ческих свойств	d , мм	S , мм/об	t , мм	T , мин	C_v	x	y	m
1	Сталь	$\delta_b = 750$ МПа	50	0,12	0,4	60	87,5	0,25	0,33	0,125
	Ковкий чугун	HB 190					106	0,2	0,25	
2	Сталь	$\delta_b = 750$ МПа	75	0,16	0,6		87,5	0,25	0,33	
	Ковкий чугун	HB 190					106	0,2	0,25	
3	Сталь	$\delta_b = 750$ МПа	100				87,5	0,25	0,33	
	Ковкий чугун	HB 190					106	0,2	0,25	
4	Сталь	$\delta_b = 750$ МПа	150	0,24	1		87,5	0,25	0,33	
	Ковкий чугун	HB 190					106	0,2	0,25	
5	Сталь	$\delta_b = 750$ МПа	200		1,2		87,5	0,25	0,33	
	Ковкий чугун	HB 190					106	0,2	0,25	

Временное сопротивление σ_b или твердость HB обрабатываемого материала, указанные в табл. 6, состояние его поверхности (без корки) и материал инструмента (быстрорежущая сталь P18) позволяют принять поправочный коэффициент $K_v = 1$. Значения подачи S в табл. 6 взяты из табл. 4 для резца с радиусом R при вершине, равным 1,2 мм.

Образец задания

Задание № 1. Определить оптимальную частоту вращения n заготовок диаметром $d = 50$ мм из углеро-

дистой конструкционной стали с временным сопротивлением $\sigma_b = 750$ МПа и ковкого чугуна твердостью HB 190 при продольном точении с охлаждением Аквол-10М. Обработка ведется резцом, оснащенным пластиной из быстрорежущей стали P18 и имеющим период стойкости $T = 60$ мин, с подачей $S = 0,12$ мм/об и глубиной резания $t = 0,4$ мм.

В условии задания приводятся только данные, входящие в уравнение (4). Другие исходные данные, выбранные при составлении задания, опускаются, хотя они имеют значение и их надо принимать во внимание, если преподаватель захочет составить новое задание. К ним относятся углы резца $\phi = 45^\circ$, $\phi_1 = 10^\circ$ и радиус при его вершине ($R = 1$ мм), а также состояние поверхности заготовки (отсутствие корки).

Получив задание, учащийся должен по табл. 6 найти значения коэффициентов C_v и показателей степени x , y , m , а затем рассчитать частоты вращения заготовок из конструкционной стали и ковкого чугуна при наружном продольном точении, используя приведенную ниже программу расчета по уравнению (4).

1.5. Программа для заданий № 1...5

Уравнение (4) для определения частоты вращения заготовки содержит много исходных данных (C_y , d , T , m , t , x , S , y , K_v), ввод которых в регистры памяти микрокалькулятора нужно осуществить до или после введения программы. Постоянную 10^3 лучше ввести непосредственно в саму программу, но для этого потребуются четыре ячейки программной памяти. В приведенной ниже программе для записи постоянной 10^3 использован 8-й регистр памяти (шаг 9— 10^3 П8). Это несколько увеличивает нагрузку на учащегося, но развивает навыки в работе с микрокалькулятором и внимательность.

Уравнение (4) содержит сомножители типа $X^y(T^m, t^x, S^y)$. Фрагменты программы, предназначенные для вычисления сомножителя (шаги 11...13) и произведения двух сомножителей (шаги 15...19), должны заканчиваться записью результата вычисления в регистр памяти. Поэтому заранее необходимо выделять специальные регистры памяти для записи этих промежуточных величин. С целью облегчения запоминания целесообразно использовать для записи промежуточных величин регистры памяти, имеющие буквенное (A , ..., D), а не цифровое

7. Программа расчета частоты вращения заготовки при ее обработке

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес	Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1	$yP0$	y	—	21	$ИП4$	m	10
2	$СП1$	S	—	22	$ИП5$	T	11
3	$xP2$	x	—	23	$Х^y$	T^m	12
4	$tP3$	t	—	24	$ИПА$	$t^x S^y$	13
5	$mP4$	m	—	25	$Х$	$T^m t^x S^y$	14
6	$ТП5$	T	—	26	$ИП6$	C_v	15
7	C_vP6	C_v	—	27	xy	—	16
8	$dP7$	d	—	28	\div	$C_v T^m t^x S^y$	17
9	10^3P8	10^3	—	29	$ИП7$	d	18
10	$ФПРГ$	—	—	30	\div	$C_v/d T^m t^x S^y$	19
11	$ИП0$	y	00	31	$F\pi$	π	20
12	$ИП1$	S	01	32	\div	$C_v/\pi d T^m t^x S^y$	21
13	FX^y	S^y	02	33	$ИП8$	10^3	22
14	$ПА$	S^y	03	34	$Х$	n	23
15	$ИП2$	x	04	35	C/π	n	24
16	$ИП3$	t	05	36	$БП$	—	25
17	FX^y	t^x	06	37	00	—	26
18	$ИПА$	S^y	07	38	$FAVT$	—	—
19	$Х$	$t^x S^y$	08	39	$B/0$	—	—
20	$ПА$	$t^x S^y$	09	40	C/π	—	—

(0, ..., 9) обозначение. В приведенной ниже программе для записи промежуточных величин достаточно одного регистра памяти A , в который поочередно вводят значения сомножителя (шаг 14 — S^y ПА) и произведения двух сомножителей (шаг 20 — t^x , S^y ПА).

В соответствии с переменными факторами заданий № 1...5 распределим регистры памяти следующим образом: $yP0$; $СП1$; $xP2$; $tP3$; $mP4$; $ТП5$; C_vP6 ; $dP7$.

Возможна и другая последовательность при распределении регистров памяти, т. е. преподаватель или учащийся могут любым образом изменять распределение исходных параметров по регистрам памяти. В приведенной программе коэффициент K_v не вводится в регистр памяти, поскольку при выбранных условиях обработки $K_v = 1$. Если $K_v \neq 1$, то для него следует выделить регистр памяти.

Программа расчета заданий № 1...5 (частота вращения заготовки при ее обработке) оформлена в виде табл. 7. В каждом из заданий № 1...5 (см. табл. 6) речь идет об обработке двух различных материалов (переменный фактор внутри одного задания), т. е. о различ-

8. Корректировка программы (см. табл. 7) при изменении материала обрабатываемой заготовки

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1	$y'P0$	y'	—
2	$x'P2$	x'	—
3	C_0P6	C_0	—
4	$B/0$	—	—
5	C/P	—	—

ных значениях коэффициента C_0 и показателей степени x и y .

При изменении материала заготовки программа корректируется (табл. 8) введением в определенные регистры памяти ($P0$, $P2$, $P6$) соответствующих значений показателей степени y и x , а также коэффициента C_0 .

Кроме того, в заданиях этой серии различны значения диаметра d обработки, подачи S и глубины резания t (переменные факторы от задания к заданию). Для выполнения каждого последующего задания данной серии программа также корректируется (табл. 9), т. е. в определенные регистры памяти ($P1$, $P3$, $P7$) вводятся соответствующие значения подачи, глубины резания и диаметра обработки.

Таким образом, записанная один раз программа позволяет решать любое из заданий № 1...5 в любой последовательности. Для уменьшения затраты времени на корректировку программы и для ускорения расчетов рекомендуется следующий прием: если решение одного задания (например, задания № 1) заканчивается расчетом

9. Корректировка программы (см. табл. 7) при изменении подачи, глубины резания и диаметра заготовки

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1	$S'P1$	S'	—
2	$t'P3$	t'	—
3	$d'P7$	d'	—
4	$B/0$	—	—
5	C/P	—	—

частоты вращения заготовки из ковкого чугуна (вторая часть задания № 1), то решение следующего задания (например, задания № 2) целесообразно начинать также с расчета частоты вращения заготовки из ковкого чугуна (вторая часть задания № 2).

1.6. Выполнение заданий № 1...5

Пример выполнения задания № 1. Содержание этого задания приведено на с. 10. При решении выполняем нижеследующие действия.

Находим значения коэффициента C_v и показателей степени, пользуясь табл. 6: для стали $C_v = 87,5$; $x = 0,25$; $y = 0,33$; для ковкого чугуна $C_v = 106$; $x = 0$; $y = 0,25$; для обоих материалов $m = 0,125$.

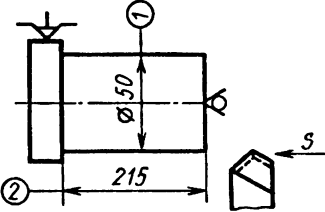
Распределяем исходные данные при обработке стали по регистрам памяти: 0,33П0; 0,12П1; 0,25П2; 0,4П3; 0,125П4; 60П5; 87,5П6; 50П7; 10^3 П8.

Вводим программу расчета частоты вращения (см. табл. 7) в микрокалькулятор и, произведя вычисления, получаем частоту вращения стальной заготовки при ее обработке: $n = 845 \text{ мин}^{-1}$.

Распределяем исходные данные при обработке заготовки из ковкого чугуна по регистрам памяти: 0,25П0; 0,2П2; 106П6. Содержание регистров памяти П1, П3, П5, П7, П8 остается без изменения.

Произведя вычисления, получаем частоту вращения заготовки из ковкого чугуна: $n = 825 \text{ мин}^{-1}$.

Оформляем результат решения задания в виде фрагмента технологической карты.

	Наименование операции					Материал	
	Токарная					Сталь 35	
	Оборудование с ЧПУ						
	16К30Ф3						
	D	L	t	i	S	n	v
Точить поверхность, выдерживая размеры 1 и 2	50	215	0,4	1	0,12	845	—

Оснастка: патрон; центр вращающийся; резец проходной из стали Р18

10. Ответы к заданиям № 1...5

№ задания	Исходные данные			n, мин ⁻¹	
	d, мм	S, мм/об	t, мм	Сталь	Ковкий чугун
1	50	0,12	0,4	845	825
2	75	0,16	0,6	463	472
3	100			347	354
4	150	0,24	1	178	192
5	200		1,2	127	139

Содержания заданий № 2...5 и их решения аналогичны содержанию и решению задания № 1. Ответы к заданиям № 1...5 приведены в табл. 10.

1.7. Задания № 6...10

Постановка задачи: определить период T стойкости резца при наружном продольном точении заготовок из медного и алюминиевого сплавов.

Цель задания: выявить зависимость стойкости режущего инструмента от обрабатываемого материала.

Переменные факторы: обрабатываемый материал (внутри одного задания); диаметр обрабатываемой заготовки, ее частота вращения, подача и глубина резания (от задания к заданию).

Постоянные факторы: материал инструмента; отсутствие охлаждения.

В каждом задании определяют период T стойкости резца при обработке заготовки (переменный фактор — обрабатываемый материал) при соответствующих значениях диаметра заготовки, ее частоты вращения, подачи и глубины резания, которые являются постоянными факторами конкретного задания, но изменяются (все четыре или три из четырех) от задания к заданию.

Условия заданий приведены в табл. 11, где также даны значения коэффициента C_v и показателей степени уравнения (6). Обработка производится резцами из стали P18 без охлаждения. Прочие условия подобраны так, что коэффициент $K_v = 1$.

Рекомендуемые значения продольной подачи при чис-

11. Условия заданий № 6...10

№ задания	Обрабатываемый материал	Твердость НВ	d , мм	n , мин ⁻¹	S , мм/об	t , мм	C_v	x	y	m
6	Медный сплав	100...140	90	700	0,12	0,5	270	0,12	0,25	0,23
	Алюминиевый сплав	<65					480			0,28
7	Медный сплав	100...140	100	600	0,15	1	270			0,23
	Алюминиевый сплав	<65					480			0,28
8	Медный сплав	100...140	120	500	0,2	1	270			0,23
	Алюминиевый сплав	<65					480			0,28
9	Медный сплав	100...140	130	400	0,25	1,5	270			0,23
	Алюминиевый сплав	<65					480			0,28
10	Медный сплав	100...140	160	300	0,27	1,5	270			0,23
	Алюминиевый сплав	<65					480			0,28

12. Рекомендуемые значения подачи при чистовом точении заготовок из медных и алюминиевых сплавов

d , мм	Подача S (мм/об) при глубине резания t , мм		
	до 0,5	0,5...1	1...2
До 30	0,05...0,08	0,08...0,12	0,13...0,2
30...50	0,08...0,1	0,1 ...0,15	0,15...0,22
50...100	0,1 ...0,14	0,15...0,2	0,2 ...0,25
100...150	0,14...0,18	0,2 ...0,25	0,25...0,3
150...200	0,18...0,22	0,22...0,27	0,27...0,32

товом точении заготовок из медных и алюминиевых сплавов указаны в табл. 12, что можно использовать при составлении дополнительных заданий.

Образец задания

Задание № 6. Определить период T стойкости резца при продольном точении без охлаждения заготовок диаметром $d = 90$ мм из медного сплава твердостью HB 100...140 и алюминиевого сплава твердостью до HB 65. Обработка ведется резцом из быстрорежущей стали P18 с подачей $S = 0,12$ мм/об, глубиной резания $t = 0,5$ мм при частоте вращения $n = 700$ мин⁻¹.

Получив задание, учащийся по табл. 11 находит значения коэффициента C_v и показателей степени x , y и m , а затем рассчитывает период стойкости резца, используя приведенную ниже программу расчета по уравнению (6).

1.8. Программа для заданий № 6...10

На основании уравнения (4) получаем следующее уравнение для определения периода стойкости резца:

$$T = \sqrt[m]{\frac{10^3}{\pi d n} \cdot \frac{C_v}{t^x S^y} \cdot K_v}. \quad (6)$$

Чтобы решить уравнение (6), которое по структуре близко к уравнению (4), следует извлечь корень m -ой степени. Как известно, это равносильно возведению подкоренного выражения в степень $1/m$. В остальном методика построения программ аналогична изложенной для заданий № 1...5.

Для постоянной 10^3 выделяем 5-й регистр памяти (шаг 6— 10^3 П5), а для записи промежуточной величины (сомножитель S^y) — регистр памяти А (шаг 14).

В соответствии с переменными факторами заданий № 6...10 распределяем регистры памяти следующим образом: y П0; S П1; x П2; t П3; C_v П4; n П6; d П7; m П8.

Возможна любая другая последовательность при распределении регистров памяти. В приведенной ниже программе коэффициент K_v не вводится в регистр памяти, поскольку при выбранных условиях обработки $K_v = 1$.

Программа расчета заданий № 6...10 (период стойкости резца) оформлена в виде табл. 13. В каждом из заданий № 6...10 (см. табл. 11) речь идет об обработке двух различных материалов (переменный фактор внутри одного задания), т. е. о различных значениях коэффициента C_v и показателя степени m .

При изменении материала заготовки программа корректируется (табл. 14) введением ~~выбранных~~ определенных регистров.

13. Программа расчета периода стойкости резца

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес	Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1	$yP0$	y	—	21	xy	—	10
2	$SP1$	S	—	22	\div	$C_v/t^x S^y$	11
3	$xP2$	x	—	23	$ИП5$	10^3	12
4	$tP3$	t	—	24	\times	$10^3 C_v/t^x S^y$	13
5	C_vP4	C_v	—	25	$F\pi$	π	14
6	10^3P5	10^3	—	26	\div	$10^3 C_v/\pi t^x S^y$	15
7	$nP6$	n	—	27	$ИП6$	n	16
8	$dP7$	d	—	28	\div	$10^3 C_v/\pi n t^x S^y$	17
9	$mP8$	m	—	29	$ИП7$	d	18
10	$FПРГ$	—	—	30	\div	$10^3 C_v/\pi d n t^x S^y$	19
11	$ИП0$	y	00	31	$ИП8$	m	20
12	$ИП1$	S	01	32	$F^{1/x}$	$1/m$	21
13	$FХ^y$	S^y	02	33	xy	—	22
14	$ПА$	S^y	03	34	$FХ^y$	T	23
15	$ИП2$	x	04	35	C/π	T	24
16	$ИП3$	t	05	36	$БП$	—	25
17	$FХ^y$	t^x	06	37	00	—	26
18	$ИПА$	S^y	07	38	$FABT$	—	—
19	\times	$t^x S^y$	08	39	$B/0$	—	—
20	$ИП4$	C_v	09	40	C/π	—	—

ры памяти ($P4$, $P8$) соответствующих значений коэффициента C_v и показателя степени m .

Кроме того, задания этой серии различаются диаметром d обработки, частотой вращения n заготовки, подачей S и глубиной резания t (переменные факторы от задания к заданию). Для выполнения каждого последующего задания данной серии программа также корректируется (табл. 15) введением в определенные регистры памяти ($P1$, $P3$, $P6$, $P7$) соответствующих значений

14. Корректировка программы (см. табл. 13) при изменении материала обрабатываемой заготовки

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1	$C_v'P4$	C_v'	—
2	$m'P8$	m'	—
3	$B/0$	—	—
4	C/π	—	—

15. Корректировка программы (см. табл. 13) при изменении подачи, глубины резания, частоты вращения заготовки и диаметра обработки

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1	$S'П1$	S'	—
2	$t'П3$	t'	—
3	$n'П6$	n'	—
4	$d'П7$	d'	—
5	$B/0$	—	—
6	$C/П$	—	—

Примечание. Содержание регистра памяти $П3$ (шаг 2) не изменяется при решении заданий № 7...10.

подачи, глубины резания, частоты вращения заготовки и диаметра обработки.

Таким образом, записанная один раз программа позволяет решать любое из заданий № 6...10 в любой последовательности. Для уменьшения затрат времени на корректировку программы рекомендуется тот же прием, что и при выполнении заданий № 1...5 (см. с. 13).

1.9. Выполнение заданий № 6...10

Пример выполнения задания № 6. Содержание этого задания приведено на с. 17. При решении выполняем нижеследующие действия.

Находим значения коэффициента C_v и показателей степени, пользуясь табл. 10: для медного сплава $C_v = 270$; $m = 0,23$; для алюминиевого сплава $C_v = 480$; $m = 0,28$; для обоих материалов $x = 0,12$; $y = 0,25$.

Распределяем исходные данные при обработке медного сплава по регистрам памяти: $0,25П0$; $0,12П1$; $0,12П2$; $0,5П3$; $270П4$; $10^3П5$; $700П6$; $90П7$; $0,23П8$.

Вводим программу расчета периода стойкости резца (см. табл. 13) в микрокалькулятор и, произведя вычисления, получаем период стойкости при обработке медного сплава: $T = 55$ мин.

Распределяем исходные данные при обработке алюминиевого сплава по регистрам памяти: $480П4$; $0,28П8$. Содержание регистров памяти $П0$, $П1$, $П2$, $П3$, $П5$, $П6$, $П7$ остается без изменения.

16. Ответы к заданиям № 6...10

№ задания	Исходные данные				T, мин	
	d, мм	n, мин ⁻¹	t, мм	S, мм/об	Медный сплав	Алюминиевый сплав
6	90	700	0,5	0,12	55	211
7	100	800	1	0,15	37	153
8	120	500		0,2	27	118
9	130	400	1,5	0,25	32	136
10	160	300		0,27	42	169

Произведя вычисления, получаем период стойкости резца при обработке алюминиевого сплава: $T = 211$ мин.

Содержания заданий № 7...10 и их решения аналогичны содержанию и решению задания № 6. Ответы к заданиям № 6...10 приведены в табл. 16.

2. ОТРЕЗКА. ЛИНЕЙНАЯ ПРОГРАММА С НЕПРЕРЫВНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ АРГУМЕНТОВ

Этот вид обработки часто завершает токарные операции.

2.1. Характеристика операции

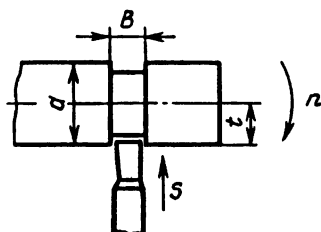


Рис. 2. Схема отрезки на токарном станке

Характерные особенности операции:
 переменная скорость резания вследствие непрерывного изменения диаметра обрабатываемой заготовки;
 несвободное резание и затрудненный отвод стружки;
 неблагоприятные условия охлаждения и отвода теплоты из зоны резания;

недостаточная жесткость инструмента;
зависимость условий резания от расположения вершины резца относительно оси заготовки.

К р и т е р и и э ф ф е к т и в н о с т и:

время отрезки, определяемое максимально допустимыми скоростью резания v и подачей S , которые, в свою очередь, зависят от красностойкости материала инструмента и условий охлаждения (тип, расход и давление СОЖ);

объем металла, превращаемого в стружку, который определяется при работе с оптимальной шириной инструмента B (см. рис. 2).

2.2. Режимы резания

S , мм/об — поперечная подача на оборот, т. е. перемещение резца перпендикулярно оси заготовки за ее один оборот;

t , мм — глубина резания, соответствующая радиусу отрезаемой заготовки;

v — скорость резания ($\text{м} \cdot \text{мин}^{-1}$) и T — период стойкости резца (мин), определяемые так же, как и в п. 1.2.

Уравнение оптимальной скорости резания ($\text{м} \cdot \text{мин}^{-1}$) при отрезке имеет следующий вид:

$$v = \frac{C_v}{T^m S^y} K_v, \quad (7)$$

где величины C_v , K_v , m и y несут такую же смысловую нагрузку, как и в уравнении (3).

Отсюда можно получить уравнение для определения оптимальной частоты вращения заготовки при отрезке, мин^{-1} :

$$n = \frac{10^3}{\pi d} \cdot \frac{C_v}{T^m S^y} K_v. \quad (8)$$

Это уравнение может применяться либо без учета непрерывного изменения диаметра обработки в процессе отрезки (наиболее распространенный в практике метод), либо с его учетом. Второй метод используется редко из-за сложности непрерывного или дискретного увеличения частоты вращения заготовки, а также ухудшения условий охлаждения и отвода теплоты из зоны резания по мере уменьшения диаметра обработки. Изменение частоты вращения при ручном управлении станком требует больших затрат вспомогательного времени и поэтому

17. Значения коэффициента C_v и показателей степени уравнения (8)

Обрабатываемый материал	Твердость НВ	Материал резца	C_v	y	m
Серый чугун	190	P18	22,5	0,4	0,15
		ВК6	68,5		0,2
Ковкий чугун	150		86		

18. Рекомендуемые значения поперечной подачи S при отрезке

Диаметр d заготовки, мм	Ширина B резца, мм	S , мм/об	
		Конструкционная сталь	Чугун, медные и алюминиевые сплавы
До 20	3	0,06...0,08	0,11...0,14
Свыше 20 до 40	3...4	0,1 ...0,12	0,16...0,19
» 40 » 60	4.. 5	0,13...0,16	0,2 ...0,24
» 60 » 100	5...8	0,16...0,23	0,24...0,32
» 100 » 150	6...10	0,18...0,26	0,3 ...0,4
» 150	10...15	0,28...0,36	0,4 ...0,55

экономически не оправдано. На станках с ПУ регулирование частоты вращения не требует вмешательства оператора.

В заданиях рассматривается отрезка заготовок из серого и ковкого чугунов резцами из быстрорежущей стали P18 и твердого сплава ВК6. Обработка производится без применения СОЖ. Значения коэффициента C_v , а также показателей степени y и m для конкретных условий обработки приведены в табл. 17, рекомендуемые значения поперечной подачи — в табл. 18.

Отметим, что ширина B резца и подача S взаимосвязаны: чем больше ширина резца, тем лучше условия теплоотвода, т. е. можно назначать бóльшую подачу.

2.3. Инструмент

В качестве инструмента при отрезке используют отрезные резцы с напаянными пластинами, как правило, из быстрорежущей стали или твердого сплава; применяют также отрезные резцы из углеродистой инструментальной стали и небольшие цельные резцы из быстрорежущей стали.

2.4. Задания № 11...15

Постановка задачи: определить оптимальную частоту вращения заготовки при заданных условиях отрезки.

Цель задания: выявить зависимость частоты вращения заготовки от материала режущей части резца.

Переменные факторы: материал инструмента (внутри одного задания); диаметр обрабатываемой заготовки, подача и период стойкости резца (от задания к заданию).

Постоянные факторы: обрабатываемый материал; отсутствие охлаждения.

В каждом задании определяют частоту вращения заготовки при обработке резцами с режущей частью из разных материалов (переменный фактор) при соответствующих значениях диаметра обрабатываемой заготовки, подачи и периода стойкости резца, которые являются постоянными факторами конкретного задания, но изменяются от задания к заданию.

Условия заданий приведены в табл. 19, где также даны значения коэффициента C_v и показателей степени y и m . Прочие условия обработки подобраны так, что $K_v = 1$.

19. Условия заданий № 11...15

№ задания	Обрабатываемый материал	Материал режущей части резца	d , мм	S , мм/об	T , мин	C_v	y	m
11	Серый чугун твердостью НВ 190	P18	40	0,16	70	22,5	0,4	0,15
		BK6				68,5		0,2
12		P18	60	0,22	60	22,5		0,15
		BK6				68,5		0,2
13		P18	80	0,26	50	22,5		0,15
		BK6				68,5		0,2
14		P18	100	0,3	40	22,5		0,15
		BK6				68,5		0,2
15		P18	120	0,35	30	22,5		0,15
		BK6				68,5		0,2

Образец задания

Задание № 11. Определить оптимальную частоту вращения заготовки диаметром $d = 40$ мм из серого чугуна твердостью НВ 190 при ее отрезке без охлаждения резцом с пластиной из быстрорежущей стали Р18 и резцом с пластиной из твердого сплава ВК6. Обработка ведется с подачей $S = 0,16$ мм/об, период стойкости резцов $T = 70$ мин.

2.5. Программа для заданий № 11...15

Частота вращения заготовки при отрезке определяется уравнением (8), которое по структуре близко к уравнению (4) и отличается от него только отсутствием множителя t^x . Поэтому при составлении программы расчета сохранена методика построения программы для заданий № 1...5.

Для постоянной 10^3 выделяем 5-й регистр памяти (шаг 6), а для записи промежуточной величины (суммножитель S^y) — регистр памяти А (шаг 12).

В соответствии с переменными факторами заданий № 11...15 распределим регистры памяти следующим образом: $yП0$; $СП1$; $тП2$; $ТПЗ$; $дП4$; $С_вП6$.

Возможна любая другая последовательность при распределении регистров памяти. В приведенной ниже программе коэффициент K_v не вводится в регистр памяти, поскольку при выбранных условиях обработки $K_v = 1$.

Программа расчета заданий № 11...15 (частота вращения заготовки при ее обработке) оформлена в виде табл. 20. В каждом из заданий № 11...15 (см. табл. 19) речь идет об обработке заготовки из серого чугуна резцами, режущая часть которых выполнена из двух различных материалов (переменный фактор внутри одного задания), т. е. о различных значениях коэффициента C_v и показателя степени m .

При изменении материала режущей части инструмента программа корректируется (табл. 21) введением в определенные регистры памяти ($П2$, $П6$) соответствующих значений показателя степени m и коэффициента C_v .

Кроме того, задания этой серии различаются диаметром d обработки, подачей S и периодом T стойкости резца (переменные факторы от задания к заданию). Для выполнения каждого последующего задания данной

20. Программа расчета частоты вращения заготовки при отрезке резцом

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес	Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1	УПО	y	—	17	×	$S^y T^m$	08
2	СП1	S	—	18	ИП4	d	09
3	МП2	m	—	19	X	$d T^m S^y$	10
4	ТП3	T	—	20	Fπ	π	11
5	дП4	d	—	21	×	$\pi d T^m S^y$	12
6	$10^3 П5$	10^3	—	22	ИП5	10^3	13
7	С _в П6	C_v	—	23	xy		14
8	ФПРГ	—	—	24	÷	10^3	15
9	ИПО	y	00	25	ИП6	C_v	16
10	ИП1	S	01	26	×	n	17
11	FX ^y	S^y	02	27	С/П	$10^3 C_v / (\pi d T^m S^y) = n$	18
12	ПА	S^y	03	28	БП	—	19
13	ИП2	m	04	29	00	—	20
14	ИП3	T	05	30	FABT	—	—
15	FX ^y	T^m	06	31	В/0	—	—
16	ИПА	S^y	07	32	С/П	—	—

21. Корректировка программы (см. табл. 20) при изменении материала режущей части резца

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1	$m' П2$	m'	—
2	$C'_v П6$	C'_v	—
3	В/0	—	—
4	С/П	—	—

22. Корректировка программы (см. табл. 20) при изменении подачи, периода стойкости инструмента и диаметра обработки

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1	$S' П1$	S^u	—
2	ТП3	T	—
3	дП4	d	—
4	В/0	—	—
5	С/П	—	—

серии программа также корректируется (табл. 22) введением в определенные регистры памяти (*П1, П3, П4*) соответствующих значений подачи, периода стойкости и диаметра обработки.

Таким образом, записанная один раз программа позволяет решать любое из заданий № 11...15 в любой последовательности. Для уменьшения затрат времени на корректировку программы и для ускорения расчетов рекомендуется следующий прием: если решение одного задания (например, задания № 11) заканчивается расчетом частоты вращения заготовки при ее обработке резцом с режущей частью из твердого сплава ВК6 (вторая часть задания № 11), то решение следующего задания (например, задания № 12) целесообразно начинать также с расчета частоты вращения заготовки при ее обработке резцом с режущей частью из твердого сплава ВК6 (вторая часть задания № 12).

2.6. Выполнение заданий № 11...15

Пример выполнения задания № 11. Содержание этого задания приведено на с. 24. При решении выполняем нижеследующие действия.

Находим значения коэффициента C_v и показателя степени m , пользуясь табл. 19: для резца из стали Р18 $C_v = 22,5$; $m = 0,15$; для резца из сплава ВК6 $C_v = 68,5$; $m = 0,2$; для обоих материалов $y = 0,4$.

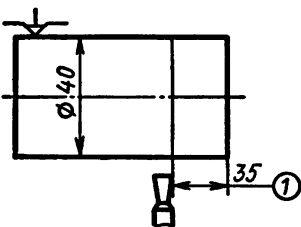
Распределяем исходные данные при обработке резцом, оснащенным пластиной из стали Р18, по регистрам памяти: 0,4П0; 0,16П1; 0,15П2; 70П3; 40П4; 10^3 П5; 22,5П6.

Выводим программу расчета частоты вращения (см. табл. 20) в микрокалькулятор и, произведя вычисления, получаем частоту вращения заготовки при ее обработке резцом из стали Р18: $n = 197 \text{ мин}^{-1}$.

Распределяем исходные данные при обработке резцом, оснащенным пластиной из твердого сплава ВК6, по регистрам памяти: 0,2П2; 68,5П6. Содержание регистров памяти П0, П1, П3, П4, П5 остается без изменения.

Произведя вычисления, получаем частоту вращения заготовки при отрезке резцом из твердого сплава ВК6: $n = 485 \text{ мин}^{-1}$.

Оформляем результат решения задания в виде фрагмента технологической карты.

	Наименование операции		Материал					
	Токарная		СЧ 210					
	Оборудование с ЧПУ							
	16К30ФЗ							
	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>L</i>	<i>t</i>	<i>i</i>	<i>S</i>	<i>n</i>	<i>v</i>
Отрезать заготовку, выдерживая размер <i>l</i>	40	4	—	20	1	0,16	485	—

Оснастка: патрон; резец отрезной из твердого сплава ВК6.

23. Ответы к заданиям № 11...15

№ задания	Исходные данные			$n, \text{мин}^{-1}$	
	<i>d</i> , мм	<i>S</i> , мм/об	<i>T</i> , мин	P18	ВК6
11	40	0,16	70	197	485
12	60	0,22	60	118	293
13	80	0,26	50	85	213
14	100	0,3	40	66	168
15	120	0,35	30	54	140

Содержания заданий № 12...15 и их решения аналогичны содержанию и решению задания № 11. Ответы к заданиям № 11...15 приведены в табл. 23.

2.7. Задания № 16...20

Постановка задачи: определить период *T* стойкости отрезного резца при заданных условиях отрезки.

Цель задания: выявить зависимость периода стойкости резца от обрабатываемого материала.

Переменные факторы: обрабатываемый материал (внутри одного задания); диаметр обрабатываемой заготовки, подача и частота вращения заготовки (от задания к заданию).

24. Условия заданий № 16...20

№ задания	Обрабатываемый материал	d , мм	n , мин ⁻¹	S , мм/об	C_v	y	m
16	Серый чугун	42	500	0,16	68,5	0,4	0,2
	Ковкий чугун				86		
17	Серый чугун	45	400	0,22	68,5		
	Ковкий чугун				86		
18	Серый чугун	55	300	0,26	68,5		
	Ковкий чугун				86		
19	Серый чугун	76	200	0,3	68,5		
	Ковкий чугун				86		
20	Серый чугун	95	150	0,35	68,5		
	Ковкий чугун				86		

П о с т о я н н ы е ф а к т о р ы: материал режущей части резца; отсутствие охлаждения.

В каждом задании определяют период стойкости отрезного резца при обработке серого и ковкого чугунов (переменный фактор) при соответствующих значениях диаметра и частоты вращения отрезаемой заготовки, а также подачи, которые являются постоянными факторами конкретного задания, но изменяются от задания к заданию.

Условия заданий приведены в табл. 24, где также даны значения коэффициента C_v и показателей степени y и m . Прочие условия обработки подобраны так, что $K_0 = 1$.

Образец задания

З а д а н и е № 16. Определить период стойкости резца при отрезке заготовок диаметром $d = 42$ мм из серого чугуна твердостью HB 190 и ковкого чугуна твердостью HB 150. Обработка ведется резцом, оснащенным пластинкой из твердого сплава ВК6, без охлаждения, с подачей $S = 0,16$ мм/об, при частоте вращения заготовки $n = 500$ мин⁻¹.

2.8. Программа для задания № 16...20

Преобразовав уравнение (8), получим выражение для определения периода T стойкости (мин) отрезного резца:

$$T = \sqrt[m]{\frac{10^3}{\pi d n} \cdot \frac{C_v}{S^y} K_v}. \quad (9)$$

По структуре уравнение (9) близко к уравнению (6). Здесь также при определении значения T извлекается корень m -й степени, что равносильно возведению подкоренного выражения в степень $1/m$. В остальном методика построения программы аналогична изложенной ранее.

Для постоянной 10^3 выделяем 5-й регистр памяти (шаг 6), а для записи промежуточной величины (сомножителей или произведения сомножителей) отдельный регистр памяти не выделяется.

В соответствии с переменными факторами заданий № 16...20 распределим регистры памяти следующим образом: y П0; S П1; n П2; d П3; C_v П4; m П6.

Возможна любая другая последовательность при распределении регистров памяти. В приведенной ниже программе коэффициент K_v не вводится в регистр па-

25. Программа расчета периода стойкости резца при отрезке

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес	Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1	y П0	y	—	18	$ИП4$	C_v	09
2	S П1	S	—	19	xy	—	10
3	n П2	n	—	20	\div	$C_v/\pi d n S^y$	11
4	d П3	d	—	21	$ИП5$	10^3	12
5	C_v П4	C_v	—	22	\times	$10^3 C_v/\pi d n S^y$	13
6	10^3 П5	10^3	—	23	$ИП6$	m	14
7	m П6	m	—				
8	$FПГ$	—	—	24	$F1/x$	$1/m$	15
9	$ИП0$	y	00	25	xy	—	16
10	$ИП1$	S	01	26	$FХ^y$	T	17
11	$FХ^y$	S^y	02	27	$C/П$	T	18
12	$ИП2$	n	03	28	$БП$	—	19
13	\times	nS^y	04	29	00	—	20
14	$ИП3$	d	05	30	$FABT$	—	—
15	\times	$d n S^y$	06	31	$B/0$	—	—
16	$F\pi$	π	07	32	$C/П$	—	—
17	\times	$\pi d n S^y$	08				

мости, поскольку при выбранных условиях обработки $K_v = 1$.

Программа расчета заданий № 16...20 (период стойкости резца) оформлена в виде табл. 25. В каждом из заданий № 16...20 (см. табл. 24) речь идет об обработке заготовок из двух различных материалов (переменный фактор внутри одного задания), т. е. о различных значениях коэффициента C_v .

При изменении материала заготовки программа корректируется (табл. 26) введением в регистр памяти $P4$ соответствующего значения коэффициента C_v .

Кроме того, задания этой серии различаются диаметром обработки, частотой вращения n и подачей S (переменные факторы от задания к заданию). Для выполнения каждого последующего задания данной серии программа также корректируется (табл. 27) введением в определенные регистры памяти ($P1$, $P2$, $P3$) соответствующих значений подачи, частоты вращения заготовки и ее диаметра.

26. Корректировка программы (см. табл. 25) при изменении материала обрабатываемой заготовки

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1	$C_v P4$	C_v	—
2	$B/0$	—	—
3	C/P	—	—

27. Корректировка программы (см. табл. 25) при изменении подачи, частоты вращения заготовки и ее диаметра

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1	$S' P1$	S'	—
2	$n' P2$	n'	—
3	$d' P3$	d'	—
4	$B/0$	—	—
5	C/P	—	—

Таким образом, записанная один раз программа позволяет решать любое из заданий № 16...20 в любой

последовательности. Для уменьшения затрат времени на корректировку программы рекомендуется тот же прием, что и при выполнении заданий № 1...5 (см. с. 13).

2.9. Выполнение заданий № 16...20

Пример выполнения задания № 16. Содержание этого задания приведено на с. 28. При решении выполняем нижеследующие действия.

Находим значения коэффициента C_v и показателей степени, пользуясь табл. 24: для серого чугуна $C_v = 68,5$; для ковкого чугуна $C_v = 86$; для обоих материалов $y = 0,4$; $m = 0,2$.

Распределяем исходные данные при отрезке заготовки из серого чугуна по регистрам памяти: 0,4П0; 0,16П1; 500П2; 42П3; 68,5П4; 10³П5; 0,2П6.

Вводим программу расчета периода стойкости (см. табл. 25) в микрокалькулятор и, произведя вычисления, получаем значение периода стойкости резца при отрезке заготовки из серого чугуна: $T = 47$ мин.

Распределяем исходные данные при отрезке заготовки из ковкого чугуна: 36П4. Содержание остальных регистров памяти остается неизменным.

Произведя вычисления, получаем значение периода стойкости резца при отрезке заготовки из ковкого чугуна: $T = 147$ мин.

Содержания заданий № 17...20 и их решения аналогичны содержанию и решению задания № 16. Ответы к заданиям № 16...20 приведены в табл. 28.

28. Ответы к заданиям № 16...20

№ задания	Исходные данные			T, мин	
	d, мм	n, мин ⁻¹	S, мм/об	Серый чугун	Ковкий чугун
16	42	500	0,16	47	147
17	45	400	0,22	53	168
18	55	300	0,26	59	185
19	76	200	0,3	67	210
20	95	1150	0,35	68	213

2.10. Отрезка с изменяющимися режимами резания

В заданиях № 11...20 процесс отрезки рассматривался упрощенно, т. е. при постоянных для конкретного задания значениях частоты вращения n и поперечной

подачи S . Однако по мере продвижения резца к оси заготовки диаметр обработки уменьшается, поэтому для поддержания скорости резания на первоначальном уровне следует увеличивать частоту вращения заготовки.

Практика отрезки показала также целесообразность снижения поперечной подачи по мере приближения резца к оси заготовки вследствие ряда причин (ухудшение условий охлаждения и теплоотвода, снижение жесткости шейки обрабатываемой поверхности и др.). Рекомендуется уменьшение подачи на 40...50 %.

2.11. Задания № 21...25

Постановка задачи: определить ряд оптимальных частот вращения $n_{1,...,i}$ заготовки при заданных условиях отрезки.

Цель задания: выявить зависимость частоты вращения заготовки от изменяющихся диаметра d обработки и подачи S резца.

Переменные факторы: диаметр обработки и подача резца (внутри одного задания); начальный диаметр обрабатываемой заготовки, период стойкости резца и приращение (отрицательное) диаметра обработки и подачи (от задания к заданию).

Постоянные факторы: обрабатываемый материал; материал режущей части резца; отсутствие охлаждения.

В каждом задании определяют ряд оптимальных частот вращения заготовки при ступенчатом уменьшении диаметра d обработки и подачи S резца (переменные факторы) и соответствующих значениях периода стойкости резца и диаметра заготовки, которые постоянны в данном задании, но меняются от задания к заданию.

Условия заданий приведены в табл. 29, где также даны значения коэффициента C_v и показателей степени y и m . Прочие условия подобраны так, что $K_v = 1$.

29. Условия заданий № 21...25

№ задания	d , мм	Δd , мм	S , мм/об	ΔS , мм/об	T , мин	C_v	y	m
21	40	10	0,19	0,01	120	68,5	0,4	0,2
	30		0,18					

№ зада- ния	<i>d</i> , мм	Δd , мм	<i>S</i> , мм/об	ΔS , мм/об	<i>T</i> , мин	<i>C</i> ,	<i>y</i>	<i>m</i>
21	20	10	0,17	0,01	120	68,5	0,4	0,2
	10		0,16					
22	60	15	0,24	0,02	100			
	45		0,22					
	30		0,20					
	15		0,18					
23	80	20	0,28	0,03	90			
	60		0,25					
	40		0,22					
	20		0,19					
24	100	25	0,32	0,04	60			
	75		0,28					
	50		0,24					
	25		0,2					
25	120	30	0,4	0,05	45			
	90		0,35					
	60		0,3					
	30		0,25					

Образец задания

Задание № 21. Определить ряд оптимальных частот вращения n_1, \dots, n_4 заготовки диаметром $d = 40$ мм из серого чугуна твердостью НВ 190 при отрезке без охлаждения резцом, оснащенный пластиной из твердого сплава ВК6. Частота вращения заготовки должна изменяться после изменения диаметра обработки на 10 мм. Подача резца $S = 0,19$ мм/об в начале обработки и уменьшается на 0,01 мм/об одновременно с изменением частоты вращения. Период стойкости резца $T = 120$ мин.

2.12. Программа для заданий № 21...25

Уравнение для определения частоты вращения n заготовки при отрезке с изменяющимися значениями диаметра d обработки и подачи S позволяет находить значения частоты вращения при любых сочетаниях значений d и S . Если предположить, что кинематическая цепь токарного станка с ПУ осуществляет дискретное изменение частоты вращения n , то уравнение для определения последней будет следующим:

$$n_{1,...,i} = \frac{10^3}{\pi d_{1,...,i}} \cdot \frac{C_v}{T^m S_{1,...,i}^y} K_v, \quad (10)$$

где $n_{1,...,i}$ — дискретные значения частоты вращения, причем n_1 — начальная частота вращения, имеющая минимальное значение, n_i — конечная частота вращения, имеющая максимальное значение; $d_{1,...,i}$ — дискретные значения диаметра отрезки, причем d_1 — начальный (максимальный) диаметр, $d_2 = d_1 - \Delta d$ (Δd — уменьшение диаметра, при котором происходит изменение частоты вращения), $d_3 = d_2 - \Delta d$ и т. д.; $S_{1,...,i}$ — дискретные значения подачи резца, причем S_1 — начальное (максимальное) значение подачи, $S_2 = S_1 - \Delta S$ (ΔS — уменьшение подачи при уменьшении диаметра обработки на Δd), $S_3 = S_2 - \Delta S$ и т. д.

Принимаем, что количество расчетных дискретных значений d и S одинаково, хотя в общем случае оно может быть различным. Уравнение (10) позволяет получить числовой ряд значений частоты вращения заготовки в процессе отрезки.

По структуре уравнение (10) близко к уравнению (8). Отличие состоит в том, что значения d и S дискретно уменьшаются, а значение n_i дискретно увеличивается, причем каждой паре значений d_i и S_i соответствует свое значение n . За максимальную частоту вращения для данного задания принимают частоту вращения, соответствующую паре значений d_i и S_i , предшествующих нулевым значениям этих параметров, так как если один из этих параметров станет равным нулю, то число оборотов должно стать бесконечно большим, что исключено. При значениях $d = 0$ или $S = 0$ микрокалькулятор прекращает вычисления и на индикаторе появляется «еггог» — ошибка, поскольку деление на нуль — математически некорректное действие. Таким образом, последний диаметр обработки, при котором определяется час-

тота вращения заготовки, $D_{\min} = \Delta d$. Это условие обеспечивается подбором конкретных числовых значений d_{\min} и Δd в заданиях № 21...25.

В программе имеются фрагменты, обеспечивающие уменьшение аргументов d_i и S_i на Δd и ΔS после расчета каждого значения n_i и возврат к началу программы после изменения значения аргументов. Такой фрагмент, например, для подачи S соответствует шагам 30...33, 38, 39 и имеет вид: $ИП1 (S)$; $ИП7 (\Delta S)$; $-(S - \Delta S)$; $П1 (S - \Delta S)$; $БП$; 00 (около операторов указаны величины, над которыми совершается операция). Аналогичный фрагмент имеется и в программе для диаметра обработки d (шаги 34...37, 38, 39).

Для постоянной 10^3 выделяем 5-й регистр памяти (шаг 6— $10^3 П5$), а для записи промежуточной величины (сомножитель S^y) — регистр памяти A (шаг 14).

В соответствии с переменными факторами заданий № 21...25 распределим регистры памяти следующим образом: $уП0$; $СП1$; $тП2$; $ТП3$; $дП4$; $С_0П6$; $\Delta СП7$; $\Delta дП8$.

Возможна любая другая последовательность при распределении регистров памяти. В приведенной ниже программе коэффициент K_0 не вводится в регистр памяти, поскольку при выбранных условиях обработки $K_0 = 1$.

Программа расчета заданий № 21...25 (ряд дискретных значений частоты вращения заготовки) оформлена в виде табл. 30. 12-й шаг программы (оператор $С/П$) повторяется i раз (в данной серии заданий 4 раза) до тех пор, пока на индикаторе микрокалькулятора не появится «еггог».

При выполнении любого из заданий данной серии корректировать программу не требуется. В то же время задания данной серии различаются начальными диаметром d обрабатываемой заготовки и подачей S , приращениями (отрицательными) диаметра обработки (Δd) и подачи (ΔS), а также периодом T стойкости резца (переменные факторы от задания к заданию).

Для выполнения каждого последующего задания данной серии программа корректируется (табл. 31) введением в определенные регистры памяти ($П1$, $П3$, $П4$, $П7$, $П8$) соответствующих значений подачи, периода стойкости, диаметра заготовки, приращения подачи и приращения диаметра обработки.

Таким образом, записанная один раз программа позволяет решать любое из заданий № 21...25 в любой последовательности.

30. Программа расчета ряда частот вращения заготовки при отрезке

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес	Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1	$yP0$	y	—	22	$F\pi$	π	11
2	$SP1$	S	—	23	\times	$\pi dT^m S^y$	12
3	$mP2$	m	—	24	$ИП5$	10^3	13
4	$TP3$	T	—	25	xy	—	14
5	$dP4$	d	—	26	\div	$10^3/\pi dT^m S^y$	15
6	10^3P5	10^3	—	27	$ИП6$	C_v	16
7	C_vP6	C_v	—	28	\times	n	17
8	$\Delta SP7$	ΔS	—	29	C/P	n	18
9	$\Delta dP8$	Δd	—	30	$ИП1$	S	19
10	$FПРГ$	—	—	31	$ИП7$	ΔS	20
11	$ИП0$	y	00	32	—	$S - \Delta S$	21
12	$ИП1$	S	01	33	$П1$	$S - \Delta S$	22
13	FX^y	S^y	02	34	$ИП4$	d	23
14	$ПА$	S^y	03	35	$ИП8$	Δd	24
15	$ИП2$	m	04	36	—	$d - \Delta d$	25
16	$ИП3$	T	05	37	$П4$	$d - \Delta d$	26
17	FX^y	T^m	06	38	$БП$	—	27
18	$ИПА$	S^y	07	39	00	—	28
19	\times	$T^m S^y$	08	40	$FABT$	—	—
20	$ИП4$	d	09	41	$B/0$	—	—
21	\times	$dT^m S^y$	10	42	C/P	—	—
					(j раз)		

31. Корректировка программы (см. табл. 30) при решении заданий № 21...25

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1	$СП1$	S	—
2	$ТП3$	T	—
3	$dП4$	d	—
4	$\Delta СП7$	ΔS	—
5	$\Delta dП8$	Δd	—
6	$B/0$	—	—
7	$C/P (i \text{ раз})$	—	—

2.13. Выполнение заданий № 21...25

Пример выполнения задания № 21. Содержание задания № 21 приведено на с. 33. При решении выполняем нижеследующие действия.

32. Ответы к заданиям № 21...25

№ задания	Исходные данные					n_1 , мин ⁻¹	n_2 , мин ⁻¹	n_3 , мин ⁻¹	n_4 , мин ⁻¹
	d , мм	Δd , мм	S , мм/об	ΔS , мм/об	T , мин				
21	40	10	0,19	0,01	120	406	353	850	1742
22	60	15	0,24	0,02	100	256	353	550	1149
23	80	20	0,28	0,03	90	184	257	406	861
24	100	25	0,32	0,04	60	151	213	340	732
25	120	30	0,4	0,05	45	122	172	274	591

Находим значения коэффициента C_v и показателей степени y и m , пользуясь табл. 25: $C_v = 68,5$; $y = 0,4$; $m = 0,2$.

Распределяем исходные данные по регистрам памяти: 0,4П0; 0,19П1; 0,2П2; 120П3; 40П4; 10³П5; 68,5П6; 0,01П7; 10П8.

Вводим программу расчета частоты вращения (см. табл. 30) в микрокалькулятор и, произведя вычисления, получаем: $n_1 = 406$ мин⁻¹; $n_2 = 553$ мин⁻¹; $n_3 = 850$ мин⁻¹; $n_4 = 1742$ мин⁻¹.

Содержания заданий № 22...25 и их решения аналогичны содержанию и решению задания № 21. Ответы к заданиям № 21...25 приведены в табл. 32.

3. РАСТАЧИВАНИЕ.

ПРОГРАММА «ПАКЕТ ФОРМУЛ»

И ПРОГРАММА С УСЛОВНЫМ ПЕРЕХОДОМ ТИПА $x \geq 0$

Растачивание — один из основных способов обработки отверстий, особенно высокоточных по размеру, форме или расположению, а также фасонных отверстий, выточек, канавок.

Растачивание осуществляется:

на токарных станках при вращении заготовки и продольном перемещении резца, установленного на суппорте станка;

на расточных и алмазно-расточных станках, где резец устанавливается в оправе расточной головки; при обработке резец вращается, а продольная подача осуществляется в большинстве случаев перемещением заготовки.

3.1. Характеристика операции

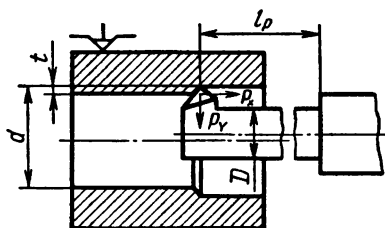


Рис. 3. Схема растачивания отверстия

Характерные особенности операции: низкая жесткость расточного резца; особенно существенно это для длинных отверстий, имеющих $(L_d/d) > 5$, где L_d — длина отверстия, и отверстий малых размеров при $d < 10...15$ мм;

трудность отвода стружки при обработке длинных отверстий и ограниченная возможность наблюдения зоны резания;

трудность подачи СОЖ в зону резания;

необходимость ограничивать в узких пределах усилие зажима тонкостенных заготовок (например, колец подшипников качения), а также равномерно распределять усилие по периметру зажима (окружности) во избежание значительного отклонения формы обработанного отверстия от номинальной геометрической формы;

потребность в высокооборотных расточных головках (высокочастотные или иные приводы) с частотой вращения $n > 5000...10\,000$ мин⁻¹ при обработке малых отверстий.

Критерии эффективности. При черновом растачивании за критерий эффективности принимают съем металла в единицу времени, т. е. обработка ведется с максимально допустимыми значениями S и t , зависящими, как правило, от жесткости расточного резца.

При чистовом растачивании критериями эффективности следует считать шероховатость обработки и погрешности макрогеометрии отверстия в поперечном и продольном направлениях, так как обработка ведется с ограниченными значениями S и t при максимально допустимой скорости резания, связанной со стойкостью расточного резца.

3.2. Режимы резания

Скорость резания v , подача на оборот S , глубина резания t и период T стойкости резца аналогичны соответствующим параметрам, рассматриваемым в разделе 1. Рекомендуемая связь между подачей S , глубиной резания t , диаметром D сечения резца и вылетом l_p резца при черновом растачивании заготовок из медных и алюминевых сплавов приведена в табл. 33 [8].

В практике для расчета процесса растачивания отверстий применяют различные формулы, связывающие между собой параметры режима растачивания. При выполнении заданий № 26...35 для определения скорости резания ($\text{м} \cdot \text{мин}^{-1}$) использовано уравнение (3), которое применительно к растачиванию имеет следующий вид:

$$v = \frac{C_v}{T^m l_p^x S^y} K_v. \quad (11)$$

Значения коэффициента C_v и показателей степени m , x и y приведены в табл. 34.

Частота вращения определяется уравнением (2).

33. Условия чернового растачивания

Размеры расточного резца		t , мм		
		2	3	5
D , мм	l_p , мм	S , мм/об		
12	60	0,12...0,2	0,12...0,18	—
20	100	0,3...0,4	0,25...0,35	0,12...0,25
25	125	0,4...0,6	0,3 ...0,5	0,25...0,35
30	150	0,5...0,8	0,4 ... 0,6	0,25...0,45
40	200	—	0,6 ...0,8	0,3 ...0,8

34. Значения коэффициента C_v и показателей степени уравнения (11)

Обрабатываемый материал	S , мм/об	C_v	x_v	y_v	m
Медные сплавы твер- достью НВ 100...140	$\leq 0,2$	270	0,12	0,25	0,23
	$> 0,2$	182		0,3	
Дюралюминий твер- достью НВ 110	$\leq 0,2$	485		0,25	0,28
	$> 0,2$	328		0,5	

3.3. Инструмент

В качестве инструментов при растачивании используются расточные резцы с круглыми ($\varnothing 6...25$ мм) или квадратными (размером от 12×12 до 40×40 мм) корпусами, с напаиваемыми (перетачиваемыми) или механически закрепляемыми (неперетачиваемыми) многогранными пластинами.

В последнее время наряду с пластинами из быстрорежущей стали, например Р6М5, все шире находят применение пластины из твердых сплавов: ВК8 (черновое и чистовое растачивание чугуна при прерывистом резании); ВК6 (черновое и чистовое растачивание чугуна при небольшом сечении среза); ВК3, эльбор и минералокерамика (чистовое растачивание чугуна); Т5К10 (черновое растачивание стали); Т15К6 (чистовое растачивание стали).

Расточные резцы делятся на проходные с главным углом в плане, равным 90 , 60 и 45° , подрезные и канавочные.

Геометрия режущей части: передний угол — $8...16^\circ$ (быстрорежущая сталь) и до 12° (твердый сплав); задний угол — 8° ; угол наклона режущей кромки — 0° (быстрорежущая сталь) и 4° (твердый сплав).

3.4. Силы резания и мощность, потребляемая при растачивании

При черновом растачивании одним из факторов, лимитирующих производительность процесса, может явиться мощность, зависящая от сил и скорости резания. Основной составляющей силы резания является тангенциальная составляющая P_z (окружная сила), по сравнению с которой радиальная P_y и осевая P_x составляющие невелики, и без большого ущерба для точности расчета мощности ими можно пренебречь. Значение силы P_z (Н) определяется уравнением (12):

$$P_z = 10C_p t^{x_p} S^{y_p} v^{z_p}. \quad (12)$$

Значения некоторых величин, входящих в уравнение (12), приведены в табл. 35.

Поскольку в рассматриваемых случаях показатель степени $z_p = 0$, то уравнение (12) упрощается:

$$P_z = 10C_p t^{x_p} S^{y_p}. \quad (13)$$

35. Значения коэффициента C_v и показателей степени уравнения (12)

Обрабатываемый материал	C_p	x_p	y_p	z_p
Медные сплавы твердостью HB 100...140	55	1	0,66	0
Дюралюминий твердостью HB ≤ 110	40		0,75	

Тогда потребляемая при растачивании мощность (кВт)

$$N = \frac{P_{zv}}{61\,200}. \quad (14)$$

3.5. Задания № 26...35. Программа «Пакет формул»

П о с т а н о в к а з а д а ч и: определить мощность, потребляемую при растачивании.

Ц е л ь з а д а н и я: выявить зависимость потребляемой мощности от обрабатываемого материала.

П е р е м е н н ы е ф а к т о р ы: обрабатываемый материал (внутри одного задания); диаметр растачиваемого отверстия, диаметр сечения резца, вылет резца, подача, глубина резания и период стойкости резца (от задания к заданию).

П о с т о я н н ы е ф а к т о р ы: материал инструмента; отсутствие охлаждения.

В каждом задании определяют мощность, потребляемую при растачивании заготовок из разных материалов (переменный фактор) при соответствующих значениях диаметра обрабатываемой заготовки, диаметра и вылета резца, подачи, глубины резания и периода стойкости резца, которые являются постоянными факторами конкретного задания, но изменяются от задания к заданию.

Условия заданий № 26...35 приведены в табл. 36, где также даны значения коэффициентов C_v , C_p и показателей степени y_v , x_v , m , x_p , y_p уравнений (11) и (13).

Условия обработки в заданиях данной серии подобраны таким образом, что поправочный коэффициент $K_v = 1$.

О б р а з е ц з а д а н и я

З а д а н и е № 26. Определить мощность, потребляемую при растачивании отверстия диаметром $d = 18$ мм

36. Условия заданий № 26...35

№ задания	Обрабатываемый материал	d , мм	D , мм	l_p , мм	S , мм/об	t , мм	T , мин	Постоянные для v				Постоянные для P_z		
								C_v	y_v	x_v	m	C_p	x_p	y_p
26	I	18	12	60	0,15	2	30	270	0,25	0,12	0,23	55	1	0,66
	II							485			0,28	40		0,75
27	I						60	270			0,23	55		0,66
	II							485			0,28	40		0,75
28	I	26	20	100	0,25	3	30	182	0,3		0,23	55	1	0,66
	II							328	0,5		0,28	40		0,75
29	I						60	182	0,3		0,23	55		0,66
	II							328	0,5		0,28	40		0,75
30	I	40	30	150	0,5		30	182	0,3		0,23	55		0,66
	II							328	0,5		0,28	40		0,75
31	I						60	182	0,3		0,23	55		0,66
	II							328	0,5		0,28	40		0,75
32	I	35	25	125	0,4	2	30	182	0,3		0,23	55	1	0,66
	II							328	0,5		0,28	40		0,75
33	I						60	182	0,3		0,23	55		0,66
	II							328	0,5		0,28	40		0,75
34	I	55	40	200	0,6	5	30	182	0,3		0,23	55		0,66
	II							328	0,5		0,28	40		0,75
35	I						60	182	0,3		0,23	55		0,66
	II							328	0,5		0,28	40		0,75

Примечание. I — медный сплав твердостью HB 100...140, II — дюралюминий твердостью HB ≤ 110.

в заготовках из медного сплава твердостью HB 100...140 и дюралюминия твердостью HB ≤ 110, исходя из оптимальной скорости резания v и окружной силы P_z .

Обработка ведется резцом из быстрорежущей стали Р6М5, имеющим диаметр $D = 12$ мм, вылет $l_p = 60$ мм и период стойкости $T = 30$ мин при $S = 0,15$ мм/об и $t = 2$ мм. Оформить результаты в виде фрагмента технологической карты, определив для этого также частоту вращения заготовки с использованием уравнения (2).

3.6. Программа «Пакет формул» для заданий № 26...35

Мощность резания N определяют по уравнению (14), для чего необходимо сначала рассчитать скорость резания v по уравнению (11) и окружную силу P_z по уравнению (13). Поэтому программа расчета (см. табл. 37) представляет собой программу «Пакет формул» и обеспечивает последовательное решение соответствующих уравнений.

Для записи постоянной 61200 используется регистр памяти A (шаг 11), для последовательной записи сомножителей S^{y_v} , S^{y_p} и произведения сомножителей $t^{x_v} S^{y_v}$ — регистр памяти C (шаги 16, 22, 36), для записи расчетного значения скорости резания v — регистр памяти D (шаг 32). Относительно большой объем исходных данных задания обуславливает необходимость использования всех 14 регистров памяти микрокалькулятора.

В соответствии с переменными факторами заданий № 26...35 распределяем регистры памяти следующим образом: для уравнения (11) — $y_v П0$; $S П1$; $x_v П2$; $t П3$; $m П4$; $T П5$; $C_v П6$; для уравнения (13) — $y_p П7$; $x_p П8$; $C_p П9$; для уравнения (14) — 61200 ПА; для уравнения (2) — $d ПВ$.

Возможна и другая последовательность при распределении регистров памяти. В приведенной ниже программе коэффициент K_v не вводится в регистр памяти, поскольку при выбранных условиях обработки $K_v = 1$.

Логически программу можно разделить на следующие части: расчет скорости резания v (адреса 00...17); запись расчетного значения v в регистр D для последующего использования (адрес 18); расчет окружной силы P_z (адреса 19...32); расчет мощности N с выводом ее значения на индикатор (адреса 33...37); расчет частоты вращения n при растачивании с выводом ее значения на индикатор (адреса 38...48).

При первом нажатии клавиши $C/П$ получаем значение мощности N (шаг 51), при втором — значение частоты вращения n (шаг 61).

37. Программа расчета мощности и частоты вращения заготовки при растачивании в ней отверстий

Шаг	Адрес	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Шаг	Адрес	Оператор	Величина, над которой выполняется операция
1	—	$y_v П0$	y_v	35	21	FX^y	S^{yP}
2	—	$СП1$	S	36	22	$ПC$	S^{yP}
3	—	$x_v П2$	x_v	37	23	$ИП8$	xP
4	—	$t П3$	t	38	24	$ИП3$	t
5	—	$m П4$	m	39	25	FX^y	t^{xP}
6	—	$T П5$	T	40	26	$ИПС$	S^{yP}
7	—	$C_v П6$	C_v	41	27	\times	$t^{xP} S^{yP}$
8	—	$y_P П7$	y_P	42	28	$ИП9$	C_P
9	—	$x_P П8$	x_P	43	29	\times	$C_P t^{xP} S^{yP}$
10	—	$C_P П9$	C_P	44	30	1	1
11	—	61200 ПА	61200	45	31	0	0
12	—	$d ПВ$	d	46	32	\times	P_z
13	—	$F ПРГ$	—	47	33	$ИПД$	v
14	00	$ИП0$	y	48	34	\times	$P_z v$
15	01	$ИП1$	S	49	35	$ИПА$	61200
16	02	FX^y	S	50	36	\div	N
17	03	$ПC$	S^{y_v}	51	37	$C/П$	N
18	04	$ИП2$	x_v	52	38	1	1
19	05	$ИП3$	t	53	39	0	0
20	06	FX^y	t^{x_v}	54	40	0	0
21	07	$ИПС$	S^{y_v}	55	41	0	0
22	08	\times	$t^{x_v} S^{y_v}$	56	42	$ИПД$	v
23	09	$ПC$	$t^{x_v} S^{y_v}$	57	43	\times	10^3
24	10	$ИП4$	m	58	44	$F\pi$	π
25	11	$ИП5$	T	59	45	\div	$10^3 v \pi$
26	12	FX^y	T^m	60	46	$ИПВ$	d
27	13	$ИПС$	$t^{x_v} S^{y_v}$	61	47	\div	n
28	14	\times	$T^m t^{x_v} S^{y_v}$	62	48	$C/П$	n
29	15	$ИП6$	C_v	63	—	$FABT$	—
30	16	xy	—	64	—	$B/0$	—
31	17	\div	v	65	—	$C/П$	N, n
32	18	$ПД$	v			(2	
33	19	$ИП7$	y_P			раза)	
34	20	$ИП1$	S				

Программа расчета заданий № 26...35 (мощность резания и частота вращения заготовки) оформлена в виде табл. 37. В каждом из заданий № 26...35 (см. табл. 36) речь идет об обработке двух различных материалов (переменный фактор внутри одного задания), т. е. о различных значениях коэффициентов C_v , C_P и показателей степени y_v , m , y_P .

При изменении материала заготовки программа корректируется (табл. 38) введением в определенные регист-

38. Корректировка программы (см. табл. 37) при изменении материала обрабатываемой заготовки

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1	$y'_0 P0$	y'_0	—
2	$m' P4$	m'	—
3	$C'_0 P6$	C'_0	—
4	$y'_p P7$	y'_p	—
5	$C'_p P9$	C'_p	—
6	$B/0$	—	—
7	$C/П$ (2 раза)	N', n'	—

П р и м е ч а н и е. При решении заданий № 26 и № 27 вводить новое значение в регистр памяти $P0$ не требуется (шаг 1), так как в этом случае показатель степени y не изменяется.

ры памяти ($P0$, $P4$, $P5$, $P7$, $P9$) соответствующих значений названных выше коэффициентов и показателей степени.

Кроме того, задания этой серии различаются диаметром d обработки, диаметром D и вылетом l_p резца, подачей S и глубиной t резания, а также периодом T стойкости резца. Для выполнения каждого последующего задания данной серии программа также корректируется (табл. 39) введением в определенные регистры памяти ($P1$, $P3$, $P5$, $PВ$) соответствующих значений подачи, глубины резания, периода стойкости и диаметра обработки.

39. Корректировка программы (см. табл. 37) при изменении подачи, глубины резания, периода стойкости и диаметра обработки

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1	$S' P1$	S'	—
2	$t' P3$	t'	—
3	$T' P5$	T'	—
4	$d' PВ$	d'	—
5	$B/0$	—	—
6	$C/П$ (2 раза)	N', n'	—

Изменение диаметра и вылета расточного резца учитывается за счет изменения подачи, которую выбирают по табл. 33 при заданной глубине резания и в зависимости от названных параметров резца.

Таким образом, записанная один раз программа позволяет решать любое из заданий № 26...35 в любой последовательности. Для уменьшения затрат времени на корректировку программы рекомендуется тот же прием, что и при выполнении заданий № 1...5 (см. с. 13).

Необходимо, однако, обратить внимание на следующее обстоятельство: если после решения задания № 26 или № 27 переходят к решению любого из заданий № 28...35, то при корректировке программы по табл. 39 следует изменять также содержание регистров памяти $П0$ и $П6$, т. е. вводить в эти регистры памяти соответствующие значения показателя степени y_v и коэффициента C_v .

3.7. Выполнение заданий № 26...35

Пример выполнения задания № 26. Содержание этого задания приведено на с. 41. Для его выполнения производим нижеследующие действия.

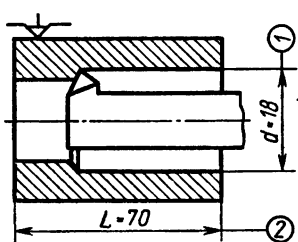
Находим значения постоянных: для медного сплава $C_v = 270$; $y_v = 0,25$; $x_v = 0,12$; $m = 0,23$; $C_p = 55$; $x_p = 1$; $y_p = 0,66$; для дюралюминия $C_v = 485$; $m = 0,28$; $C_p = 4$; $y_p = 0,75$; остальные коэффициенты остаются без изменения.

Распределяем исходные данные при растачивании отверстий в заготовке из медного сплава по регистрам памяти: $0,25П0$; $0,15П1$; $0,12П2$; $2П3$; $0,23П4$; $30П5$; $270П6$; $0,66П7$; $1П8$; $55П9$; $61200ПA$; $18ПB$.

Вводим программу расчета мощности (см. табл. 37) в микрокалькулятор и, производя вычисления, получаем значение мощности N_1 , потребляемой при растачивании отверстий в заготовке из медного сплава, и соответствующей частоты вращения n_1 : $N_1 = 0,93$ кВт; $n_1 = 3228$ мин⁻¹

Распределяем исходные данные при растачивании отверстий в заготовке из дюралюминия по регистрам памяти: $0,28П4$; $485П6$; $0,75П7$; $40П9$. Содержание регистров памяти $П0$, $П1$, $П2$, $П3$, $П5$, $П8$, $ПA$ остается без изменения. Произведя вычисления, получаем значения мощности N_2 , потребляемой при растачивании отверстий в заготовке из дюралюминия, и соответствующей частоты вращения n_2 : $N_2 = 0,87$ кВт; $n_2 = 4893$ мин⁻¹.

Оформляем результат решения задания в виде фрагмента технологической карты.

	Наименование операции					Материал	
	Расточная					Медный сплав (HB 100...140)	
						Дюралюминий (HB>100)	
	Оборудование с ЧПУ						
	16К30Ф3						
	<i>d</i>	<i>L_д</i>	<i>i</i>	<i>S</i>	<i>t</i>	<i>n₁</i>	<i>n₂</i>
Расточить поверхность, выдерживающая размеры 1 и 2	18	70	1	0,15	2	3228	4893

Оснастка: патрон, резец расточный из сплава Р6М5

Содержания заданий № 27...35 и их решения аналогичны содержанию и решению задания № 26. Ответы к заданиям № 26...35 приведены в табл. 40.

40. Ответы к заданиям № 26...35

№ задания	Обрабатываемый материал			
	Медный сплав		Дюралюминий	
	<i>N₁</i> , кВт	<i>n₁</i> , мин ⁻¹	<i>N₂</i> , кВт	<i>n₂</i> , мин ⁻¹
26	0,93	3228	0,87	4893
27	0,8	2753	0,71	4029
28	1,19	1353	1,53	2716
29	1,01	1154	1,26	2236
30	1,53	714	1,82	1248
31	1,3	609	1,5	1028
32	0,98	917	1,21	1674
33	0,84	781	0,99	1379
34	2,56	462	3	779
35	2,18	394	2,47	641

3.8. Задания № 36...45. Программа с условным переходом типа $x \geq 0$

Постановка задачи: определить оптимальную подачу S и скорость резания v при растачивании отверстия с заданными условиями обработки.

Цель задания: выявить зависимость подачи и скорости резания от обрабатываемого материала.

Переменные факторы: обрабатываемый материал и соответствующий ему материал инструмента (внутри одного задания); размеры сечения (B и H) и вылет (l_p) расточного резца (рис. 4), глубина резания (от задания к заданию).

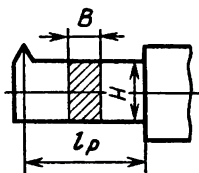


Рис. 4. Расточный резец

Постоянные факторы: период стойкости резца; отсутствие охлаждения.

В каждом задании определяют подачу и скорость резания при растачивании отверстия в заготовке из разных материалов (переменный фактор) при соответствующих размерах расточного резца и соответствующей подаче, которые являются постоянными факторами конкретного задания, но изменяются от задания к заданию.

Продольная подача S (мм/об) в зависимости от глубины t резания, размеров расточного резца (ширина B , высота H) и его вылета l_p определяется по уравнению

$$S = \frac{C_s}{t^{x_s} (l_p/H)^{y_s}}. \quad (15)$$

Значения коэффициента C_s и показателей степени этого уравнения приведены в табл. 41.

41. Значения коэффициента C_s и показателей степени уравнения (15)

Обрабатываемый материал	C_s при ширине B резца, мм										x_s	y_s
	25	30	32	35	37	40	42	45	50	55		
Конструкционная сталь	1,7	1,9	2	2,15	2,25	2,4	2,54	2,75	3,1	3,45	0,4	0,5
Серый чугун	2,1	2,3	2,4	2,55	2,65	2,8	2,97	3,22	3,7	4,1		

Скорость резания v ($\text{м} \cdot \text{мин}^{-1}$) определяется по уравнению

$$v = \frac{C_v}{t^{x_v} S^{y_v}} . \quad (16)$$

Значения коэффициента C_v и показателя степени y_v зависят от подачи S (мм/об) и приведены ниже. Показатель степени x_v равен 0,1 и не зависит от подачи.

	C_{v_1}	y_{v_1}
$S > 1$	81	0,6
$0,4 \leq S \leq 1$	110	0,4

Приведенные выше значения показателей степени и коэффициентов уравнений (15) и (16) соответствуют принятому в заданиях данной серии периоду стойкости инструмента, равному 45 мин.

Условия заданий № 36...45 приведены в табл. 42, где также даны значения коэффициентов C_s , C_{v_1} , C_{v_2} и показателей степени x_s , y_s , y_{v_1} , y_{v_2} , x_v уравнений (15) и (16).

42. Условия заданий № 36...45

№ задания	Обрабатываемый материал	B , мм	H , мм	l_p , мм	t , мм	C_s	x_s	y_s	C_{v_1}	C_{v_2}	y_{v_1}	y_{v_2}	x_v
36	Сталь	25	30	65	1,5	1,7	0,4	0,5	81	110	0,6	0,4	0,1
	Чугун					2,1							
37	Сталь	30	36	75	2	1,9							
	Чугун					2,3							
38	Сталь	32	38	85	2,5	2							
	Чугун					2,4							
39	Сталь	35	42	100	2,8	2,15							
	Чугун					2,55							
40	Сталь	37	45	110	3	2,25							
	Чугун					2,65							
41	Сталь	40	48	120	3,2	2,4							
	Чугун					2,8							

№ за- да- ния	Обрабаты- ваемый ма- териал	B , мм	H , мм	l_p , мм	t , мм	C_s	x_s	y_s	C_{v_1}	C_{v_2}	y_{v_1}	y_{v_2}	x_v
42	Сталь	42	51	130	3,5	2,54	0,4	0,5	81	110	0,6	0,4	0,1
	Чугун					2,97							
43	Сталь	45	52	145	3,8	2,75							
	Чугун					3,22							
44	Сталь	50	55	200	4	3,1							
	Чугун					3,7							
45	Сталь	55	60	240		3,45							
	Чугун					4,1							

П р и м е ч а н и е. Обработку стали ведут резцами с пластинами из твердого сплава Т5К10, а обработку чугуна — резцами с пластинами из твердого сплава ВК8.

Образец задания

Задание № 36. Определить оптимальную подачу S и скорость резания v при черновом растачивании (без охлаждения) отверстия в заготовке из конструкционной стали резцом с пластиной из твердого сплава Т5К10 и в заготовке из серого чугуна резцом с пластиной из твердого сплава ВК8. Корпус резца — прямоугольного сечения шириной $B = 25$ мм, высотой $H = 30$ мм, вылет резца $l_p = 65$ мм, глубина резания $t = 1,5$ мм.

3.9. Программа с условным переходом типа $x \geq 0$ для заданий № 36...45

Программа должна обеспечивать последовательное решение уравнений (15) и (16). Особенность ее состоит в том, что в зависимости от значения подачи ($S > 1$ мм/об или $S < 1$ мм/об) необходимо выбирать значения C_v и y_v при расчете скорости резания v . При $S > 1$ мм/об параметры C_v и y_v обозначены C_{v_1} и y_{v_1} и для них выделены два регистра памяти — П9 и П6 (шаги 10 и 7). При $S < 1$ мм/об эти параметры обозначены C_{v_2} и y_{v_2} и для них выделены два других регистра памяти ПА и П7 (шаги 11 и 8). Поэтому после опреде-

ления значения подачи программа содержит фрагмент проверки справедливости неравенства $(S - 1) \geq 0$, после чего в зависимости от результатов проверки (условный переход) выбирается то или иное значение C_v и y_v .

Условный переход задан оператором $F_{\bar{x}} \geq 0$ (шаг 12). По этому условию значение $(S - 1)$ должно быть больше 0, т. е. подача больше 1 мм/об. Если это условие выполняется, для дальнейшего расчета используется коэффициент u_{v_1} (адрес 21, шаг 14), если не выполняется, совершается переход к адресу 34, когда оператор ИП7 извлекает из регистра памяти коэффициент y_{v_2} (шаг 47).

Для записи расчетного значения подачи S используется регистр памяти B (шаг 28), а для записи промежуточных результатов $(l_p/H)^{\psi_s}$; $t^s(l_p/H)^{\psi_s}$ и т. д. — регистр памяти C (шаги 19, 37, 50).

В соответствии с переменными факторами заданий № 36...45 распределяем регистры памяти следующим образом: для уравнения (15) $l_p П0$; ИП1; $y_s П2$; $x_s П3$; $C_s П5$; для уравнения (16) $y_{v_1} П6$; $y_{v_1} П7$; $x_v П8$; $C_{v_1} П9$; $C_{v_2} ПА$. Возможна и другая последовательность при распределении регистров памяти.

Логически программу можно разделить на следующие части:

расчет по уравнению (15) подачи S (адреса 00...16) и сравнение значения подачи с единицей (адреса 17, 18);

если значение подачи больше 1, то при определении скорости резания v_1 используются параметры y_{v_1} и C_{v_1} (регистры памяти $П6$ и $П9$) и фрагменты программы с адресами 21...33;

если значение подачи меньше 1, то управление передается на адрес 34, используются параметры y_{v_2} и C_{v_2} (регистры памяти $П7$ и $ПА$) и фрагмент программы с адресами 34...46.

Программа расчета заданий № 36...45 (подача и скорость резания) оформлена в виде табл. 43. В каждом из заданий № 36...45 (см. табл. 42) речь идет об обработке двух различных материалов (переменный фактор внутри одного задания), т. е. о различных значениях коэффициента C_s . При изменении материала заготовки программа корректируется (табл. 44) введением в регистр памяти $П5$ соответствующего значения коэффициента C_s .

Кроме того, задания этой серии различаются размерами (шириной B и высотой H) и вылетом l_p расточного резца, а также глубиной резания t . Для выполнения

43. Программа расчета подачи и скорости резания при растачивании отверстия

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес	Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1	$I_p/П0$	I_p	—	32	$Fx \geq 0$	$(S - 1) \geq 0$	19
2	$H/П1$	H	—	33	34	—	20
3	$y_s/П2$	y_s	—	34	$ИП6$	y_{v1}	21
4	$x_s/П3$	x_s	—	35	$ИПВ$	S	22
5	$t/П4$	t	—	36	FX^y	$S^{y_{v1}}$	23
6	$C_s/П5$	C_s	—	37	$ПC$	$S^{y_{v1}}$	24
7	$y_{v1}/П6$	y_{v1}	—	38	$ИП8$	x_v	25
8	$y_{v2}/П7$	y_{v2}	—	39	$ИП4$	t	26
9	$x_v/П8$	x_v	—	40	FX^y	t^{x_v}	27
10	$C_{v1}/П9$	C_{v1}	—	41	$ИПС$	$S^{y_{v1}}$	28
11	$C_{v2}/ПA$	C_{v2}	—	42	\times	$t^{x_v} S^{y_{v1}}$	29
12	$FПРГ$	—	—	43	$ИП9$	C_{v1}	30
13	$ИП0$	I_p	00	44	xy	—	31
14	$ИП1$	H	01	45	\div	v_1	32
15	\div	I_p/H	02	46	$C/П$	v_1	33
16	$ИП2$	y_s	03	47	$ИП7$	y_{v2}	34
17	xy	—	04	48	$ИПВ$	S	35
18	FX^y	$(I_p/H)^{y_s}$	05	49	FX^y	$S^{y_{v2}}$	36
19	$ПC$	$(I_p/H)^{y_s}$	06	50	$ПC$	$S^{y_{v2}}$	37
20	$ИП3$	x_s	07	51	$ИП8$	x_v	38
21	$ИП4$	t	08	52	$ИП4$	t	39
22	FX^y	t^{x_s}	09	53	FX^y	t^{x_v}	40
23	$ИПС$	$(I_p/H)^{y_s}$	10	54	$ИПС$	$S^{y_{v2}}$	41
24	\times	$t^{x_s} (I_p/H)^{y_s}$	11	55	\times	$t^{x_v} S^{y_{v2}}$	42
25	$ИП5$	C_s	12	56	$ИПА$	C_{v2}	43
26	xy	—	13	57	xy	—	44
27	\div	S	14	58	\div	v_2	45
28	$ПВ$	S	15	59	$C/П$	—	46
29	$C/П$	S	16	60	$FABT$	—	—
30	1	1	17	61	$B/0$	—	—
31	—	$(S - 1)$	18	62	$C/П$ (2 раза)	$S, v_{1,2}$	—

44. Корректировка программы (см. табл. 43) при изменении материала обрабатываемой заготовки

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1	$C_s/П5$	C_s	—
2	$B/0$	—	—
3	$C/П$ (2 раза)	$S', v'_{1,2}$	—

45. Корректировка программы (см. табл. 43) при изменении высоты расточного резца, его вылета и глубины резания

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1	$l'_p П0$	l'_p	—
2	$H' П1$	H'	—
3	$t' П4$	t'	—
4	$B/0$	—	—
5	$C/П(2 \text{ раза})$	$S', v'_{1,2}$	—

каждого последующего задания данной серии программа также корректируется (табл. 45) введением в определенные регистры памяти ($П0$, $П1$, $П4$) соответствующих значений l_p , H и t .

Изменение ширины резца учитывается при выборе значения коэффициента C_s уравнения (15), который назначают, пользуясь табл. 41.

Таким образом, записанная один раз программа позволяет решать любое из заданий № 36...45 в любой последовательности.

3.10. Выполнение заданий № 36...45

Пример выполнения задания № 36. Содержание этого задания приведено на с. 50. При решении выполняем нижеследующие действия.

Находим значения коэффициентов C_s , C_{v_1} , C_{v_2} и показателей степени x_s , y_s , y_{v_1} , y_{v_2} , x_v , пользуясь табл. 42: для стали $C_s = 1,7$; для чугуна $C_s = 2,1$; остальные показатели степени и коэффициенты имеют одинаковые значения для обоих материалов, т. е. $C_{v_1} = 81$; $C_{v_2} = 110$; $x_s = 0,4$; $y_s = 0,5$; $y_{v_1} = 0,6$; $y_{v_2} = 0,4$; $x_v = 0,1$.

Распределяем исходные данные при обработке стали по регистрам памяти: 65П0; 30П1; 0,5П2; 0,4П3; 1,5П4; 1,7П5; 0,6П6; 0,4П7; 0,1П8; 81П9; 110ПА.

Вводим программу расчета подачи и скорости резания (см. табл. 43) в микрокалькулятор и, произведя вычисления, получаем подачу и скорость резания при черновом растачивании отверстия в стальной заготовке: $S = 0,98$ мм/об; $v = 106,3$ м · мин⁻¹.

Корректируем программу расчета (см. табл. 44), т. е. изменяем содержание 5-го регистра памяти: 2,1П5. Со-

46. Ответы к заданиям № 36...45

№ задания	Обрабатываемый материал			
	Конструкционная сталь		Серый чугун	
	S , мм/об	v , м·мин ⁻¹	S , мм/об	v , м·мин ⁻¹
36	0,98	106,3	1,21	69,2
37	0,99	102	1,2	67
38	0,92	103	1,11	69,3
39		102,4	1,09	69,2
40		101,5		68,8
41	0,95	99,8	1,11	67,6
42	0,96	98,4	1,12	66,5
43		97,6	1,13	65,8
44	0,93	98,4	1,11	66
45	0,99	96,1	1,17	63,9

держание остальных регистров памяти остается без изменения.

Произведя вычисления, получаем подачу и скорость резания при черновом растачивании отверстия в чугунной заготовке: $S = 1,25$ мм/об; $v = 69,2$ м·мин⁻¹.

Содержания заданий № 37...45 и их решения аналогичны содержанию и решению задания № 36. Ответы к заданиям № 36...45 приведены в табл. 46.

4. ЦИЛИНДРИЧЕСКОЕ ФРЕЗЕРОВАНИЕ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ. ПРОГРАММА С ПОДПРОГРАММОЙ

Обработка плоских поверхностей с помощью цилиндрических фрез — одна из наиболее распространенных операций механической обработки, сочетающая высокую производительность, средние уровни точности обработки и шероховатости обработанной поверхности, умеренный износ фрез, благоприятные условия охлаждения и отвода стружки.

4.1. Характеристика операции

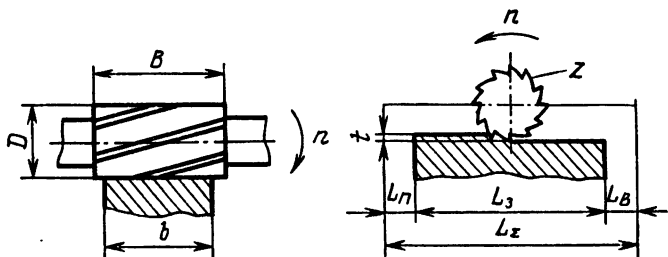


Рис. 5. Схема фрезерования плоской поверхности цилиндрической фрезой

Х а р а к т е р н ы е о с о б е н н о с т и о п е р а ц и и:

съем большого припуска и возможность работы при значительной глубине резания;

возможность встречного или попутного фрезерования; при встречном фрезеровании толщина стружки постепенно увеличивается в процессе резания, при попутном — уменьшается;

эффективность обработки поверхностей с коркой при встречном фрезеровании;

поперечное сечение стружки, снимаемой каждым зубом фрезы, имеет форму запятой;

чистовое фрезерование обеспечивает точность по 7...8-му квалитетам и шероховатость $Ra = 1,6...6,2$ мкм, черновое фрезерование — по 11...14-му квалитетам и шероховатость $Rz = 20...160$ мкм.

К р и т е р и и э ф ф е к т и в н о с т и. При черновом фрезеровании критерием служит съем металла в единицу времени, поэтому обработка ведется при максимальных значениях S_z и t , ограничиваемых обычно жесткостью системы СПИД.

При чистовом фрезеровании критериями следует считать шероховатость и погрешность макрогеометрии обработанной поверхности (отклонения от прямолинейности в плоскости и от плоскостности), поэтому обработка ведется с ограниченными значениями S и t при максимально допустимой скорости резания, связанной со стойкостью фрезы.

4.2. Режимы резания

Фрезерование плоских поверхностей цилиндрической фрезой выполняют на горизонтально- и универсально-

47. Рекомендуемые значения S_z при цилиндрическом черновом фрезеровании

Фреза		S_z , мм/зуб	
		Обрабатываемый материал	
		Конструкционная сталь	Чугун и медные сплавы
Цельная из быстрорежущей стали:			
с мелкими зубьями		0,06...0,1	0,1...0,15
с крупными зубьями		0,12...0,2	0,2...0,3
Оснащенная пластинами из твердого сплава	T15K6	0,06...0,13	—
	T5K10	0,08...0,13	
	BK6	—	0,1...0,12
	BK8		0,14...0,2

фрезерных станках, где фреза вращается, а подача осуществляется столом станка. Различают три вида подачи: подачу на зуб S_z , мм/зуб, подачу на оборот S , мм/об; подачу в минуту (минутную подачу) S_m , мм · мин⁻¹. Между ними существует следующая связь:

$$S_m = S_n = S_z z n. \quad (17)$$

При черновом фрезеровании в качестве исходной величины выбирают подачу на зуб S_z , при чистовом — минутную подачу S_m . Глубина фрезерования t определяет продолжительность контакта зуба с заготовкой, а ширина фрезерования b — рабочую длину режущей кромки зубьев.

Рекомендуемые значения [1] подачи на зуб S_z при цилиндрическом черновом фрезеровании приведены в табл. 47.

Связь между режимами резания определяется следующим уравнением, с помощью которого рассчитывается скорость резания v , м · мин⁻¹:

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^k S_z^y b^u z^p} K_v. \quad (18)$$

48. Значения коэффициента C_v и показателей степени уравнения (19)

Материал фрезы	<i>b</i> , мм	<i>t</i> , мм	<i>S_z</i> , мм/зуб	<i>C_v</i>	<i>q</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>u</i>	<i>p</i>	<i>m</i>
Для конструкционной углеродистой стали с δ _в = 750 МПа										
Р6М5	—	—	≤0,1	55	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
			>0,1	35,4			0,4			
Т15К6	>35	≤2	—	616	0,17	0,19	0,28	0,08	0,1	0,33
		>2		700		0,38				
Для серого чугуна с НВ 190										
Р6М5	—	—	≤0,15	57,6	0,7	0,5	0,2	0,3	0,3	0,25
			>0,15	27			0,6			
ВК6	—	<2,5	>0,2	588	0,37	0,13	0,47	0,23	0,14	0,42
		≥2,5	>0,2	750		0,4				

Используя уравнение (2), после преобразования уравнения (18) получим выражение для определения частоты вращения n (мин⁻¹) фрезы:

$$n = \frac{10^3 C_v K_v}{\pi D^1 - q T^m t^x S_z^y b^u z^p}. \quad (19)$$

Значения коэффициента C_v и показателей степени этого уравнения приведены в табл. 48.

При фрезеровании заготовки длиной L_z (см. рис. 5) суммарное перемещение (мм) заготовки (рабочий ход) составляет

$$L_\Sigma = L_z + L_b + L_n. \quad (20)$$

Время обработки (мин) определяется по уравнению

$$t_{\text{обр}} = \frac{L_\Sigma}{S_z z n}. \quad (21)$$

4.3. Инструмент

Промышленностью выпускаются цилиндрические фрезы цельные с мелкими (тип 1) и крупными (тип 2) зубьями, а также оснащенные винтовыми пластинами. Для изготовления цельных фрез используют быстрорежу-

49. Основные параметры цилиндрических фрез

Фреза	D	L_z	z
Цельная: с мелкими зубьями	50	50; 63; 80	12
	63	50; 63; 80; 100	14
	80	63; 80; 100; 125	16
с крупными зубьями	50*	50; 63; 80	6
	63*	50; 63; 80; 100	8
	80	63; 80; 100; 125	10
	100	80; 100; 125; 160	12
Оснащенная пластина- ми из твердого сплава	63	45; 70; 96	8
	80		
	100	45; 72; 100	10
	125	70; 100	12

* Диаметры не являются предпочтительными.

щую или легированную (марки 9ХС) сталь. Винтовые пластины изготавливают из твердых сплавов Т5К10, Т14К8, Т15К6, ВК6, ВК8, а корпуса — из сталей 40, 45, 40Х. Соединение пластин с корпусом осуществляют методом пайки. Основные параметры цилиндрических фрез приведены в табл. 49.

4.4. Задания № 46...55

Постановка задачи: из двух фрез (соответственно с мелкими и крупными зубьями) выбрать ту, которая обеспечит наименьшее время фрезерования заготовки заданных размеров, для чего определить время обработки каждой фрезой и частоту вращения фрезы.

Цель задания: выявить зависимость времени фрезерования от типа фрезы и допустимых режимов резания.

Переменные факторы: диаметр и число зубьев фрезы, подача на зуб (внутри одного задания);

50. Условия заданий № 46...55

№ за- да- ния	№ фре- зы	D, мм	z	S _z , мм/ зуб	L _Σ , мм	b, мм	t, мм	p	u	y	x	m	q	C _o																																																						
46	1	80	16	0,11	120	70	2,5	0,1	0,1	0,4	0,3	0,33	0,45	35,4																																																						
	2	63	8	0,2																																																																
47	1	50	12	0,08	180	55	3							0,1	0,1	0,4	0,3	0,33	0,45	55																																																
	2		6	0,15																35,4																																																
48	1	63	14	0,09	250	80	4													0,1	0,1	0,4	0,3	0,33	0,45	55																																										
	2		8	0,2																						35,4																																										
49	1	80	16	0,09	320	100	3,5																			0,1	0,1	0,4	0,3	0,33	0,45	55																																				
	2	100	12	0,18																												35,4																																				
50	1	80	16	0,09	430	110	3																									0,1	0,1	0,4	0,3	0,33	0,45	55																														
	2	100	12	0,18																																		35,4																														
51	1	63	14	0,09	370	75	3,5																															0,1	0,1	0,4	0,3	0,33	0,45	55																								
	2		8	0,2																																								35,4																								
52	1	50	12	0,08	500	70	2,5																																					0,1	0,1	0,4	0,3	0,33	0,45	55																		
	2	100		0,17																																														35,4																		
53	1	80	16	0,09	400	65	2																																											0,1	0,1	0,4	0,3	0,33	0,45	55												
	2	50	6	0,19																																																				35,4												
54	1	63	14	0,1	550	70	3																																																	0,1	0,1	0,4	0,3	0,33	0,45	55						
	2	50	6	0,2																																																										35,4						
55	1	50	12	0,07	600	40	4,5																																																							0,1	0,1	0,4	0,3	0,33	0,45	55
	2	100		0,21																																																																35,4

длина и ширина обрабатываемой заготовки, глубина резания (от задания к заданию).

П о с т о я н н ы е ф а к т о р ы: материал фрезы; наличие охлаждения.

В каждом задании определяют время фрезерования плоской поверхности и частоту вращения инструмента для двух фрез с различными диаметром и числом зубьев

и различной подачей на зуб (переменные факторы) при соответствующих значениях длины и ширины обрабатываемой заготовки, а также глубины резания, которые являются постоянными факторами конкретного задания, но изменяются от задания к заданию.

Условия заданий № 46...35 приведены в табл. 50, где также даны значения коэффициента C_v и показателей степени уравнений (18) и (19).

Условия обработки выбраны таким образом, что поправочный коэффициент $K_v = 1$.

Образец задания

Задание № 46. Определить, какая из двух цилиндрических фрез (№ 1 или № 2) обеспечит меньшее время фрезерования плоских заготовок шириной $b = 70$ мм и длиной $L_d = 100$ мм (рабочий ход $L_\Sigma = 120$ мм), если периоды T стойкости фрез должны быть одинаковыми ($T = 180$ мин). Кроме того, требуется определить частоту вращения каждой фрезы.

Фреза № 1 с мелкими зубьями имеет диаметр $D_1 = 80$ мм, число зубьев $z_1 = 16$; $S_{z_1} = 0,11$ мм/зуб. Фреза № 2 с крупными зубьями имеет диаметр $D_2 = 63$ мм, число зубьев $z_2 = 8$; $S_{z_2} = 0,2$ мм/зуб. Материал фрез — быстрорежущая сталь Р6М5. Обработка ведется с охлаждением при глубине фрезерования $t = 2,5$ мм.

4.5. Программа для заданий № 46...55

Программа должна обеспечивать последовательное решение уравнений (19) и (21), т. е. расчет времени обработки $t_{обp}$ в зависимости от получаемой расчетом частоты вращения n фрезы.

Особенность данной программы состоит в использовании подпрограммы, целесообразность которой обусловлена тем, что при расчете частоты вращения n фрезы необходимо несколько раз выполнять действия в одинаковой последовательности. Кроме того, применение подпрограммы позволяет сократить общую длину программы.

Подпрограмма задает последовательность возведения в степень множителей уравнения (19), последовательность их умножения друг на друга и сохранение полученного после умножения результата. Обращение к подпрограмме задается адресом ее начала — 49, возврат из подпрограммы к основной программе — опера-

тором $B/0$ (адрес 53). При этом производится возврат на первый оператор, записанный сразу после подпрограммы (адреса 04, 08, 12, 16, 22, 28). Обращение к подпрограмме в основной программе производится 6 раз (адреса 02, 03, 06, 07, 10, 11, 14, 15, 20, 21, 26, 27).

Для записи расчетного значения частоты вращения n используется регистр памяти D (шаг 39), который также используется для записи значений промежуточных сомножителей z^p , $z^p b^u$, $z^p b^u S_z^y$ и т. д. Перед началом работы в регистр памяти записывается единица, т. е. $1PD$ (шаг 69).

В соответствии с переменными факторами заданий № 46...55 распределяем регистры памяти следующим образом: для уравнения (19) $pP0$; $zP1$; $uP2$; $bP3$; $yP4$; S_zP5 ; $xP6$; $tP7$; $mP8$; $qP9$; DPA ; C_vPB ; для уравнения (21) $L_{\Sigma}PC$.

Логически программу можно разделить на следующие части:

- определение частоты вращения n_1 фрезы № 1 с записью результата в регистр памяти D (адреса 00...38);

- определение времени фрезерования $t_{обр}$ заготовки фрезой № 1 (адреса 39...46);

- вывод на индикатор ранее определенного значения n_1 (адреса 47, 48);

- обращение к подпрограмме.

Программа расчета заданий № 46...55 (время обработки и частота вращения) оформлена в виде табл. 51. В каждом из заданий № 46...55 (см. табл. 50) речь идет об обработке плоской поверхности двумя различными цилиндрическими фрезами — мелкозубой и крупнозубой — с различными диаметром и числом зубьев и при различных подачах на зуб (переменные факторы внутри одного задания). В качестве переменных факторов конкретного задания приняты также коэффициент C_v и показатель степени y (за исключением задания № 46).

При изменении фрезы программа корректируется (табл. 52) введением в определенные регистры памяти ($P1$, $P4$, $P5$, PA , PB) соответствующих значений числа зубьев, показателя степени y , подачи на зуб, диаметра фрезы и коэффициента C_v . Исключения составляют задание № 46, в котором коэффициент C_v и показатель степени y постоянны, и задания № 47, 48 и 51, в которых не изменяется диаметр фрезы. При корректировке программы в регистр памяти заносится единица — $1P$.

Кроме того, задания этой серии различаются длиной

51. Программа расчета времени обработки и частоты вращения инструмента при фрезеровании плоской поверхности цилиндрической фрезой

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес	Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1a	ФПРГ	—	—				
1	ИП0	p	00	37	ИПД	$D^1 - {}^qT^m t^x S_z^y b^u z^p$	36
2	ИП1	z	01	38	\div	n	37
3	ПП}	z^p	02	39	ПД	n	38
4	49 }		03	40	ИП1	z	39
5	ИП2	u	04	41	\times	zn	40
6	ИП3	b	05	42	ИП5	S_z	41
7	ПП}	$b^u z^p$	06	43	\times	$S_z zn$	42
8	49 }		07	44	ИПС	L_Σ	43
9	ИП4	y	08	45	xy	—	44
10	ИП5	S_z	09	46	\div	$t_{обp}$	45
11	ПП}	$S_z^y b^u z^p$	10	47	С/П	$t_{обp}$	46
12	49 }		11	48	ИПД	n	47
13	ИП6	\times	12	49	С/П	n	48
14	ИП7	t	13	50	FX y	—	49
15	ПП}	$t^x S_z^y b^u z^p$	14	51	ИПД	—	50
16	49 }		15	52	\times	—	51
17	ИП8	m	16	53	ПД	—	52
18	1	1	17	54	В/0	—	53
19	8	8	18	55	ФАБТ	—	—
20	0	0	19	56	рП0	p	—
21	ПП}	$T^m t^x S_z^y b^u z^p$	20	57	зП1	z	—
22	49 }		21	58	uП2	u	—
23	1	1	22	59	bП3	b	—
24	ИП9	q	23	60	yП4	y	—
25	—	$1 - q$	24	61	S $_y$ П5	S_z	—
26	ИПА	D	25	62	xП6	x	—
27	ПП}	$D^1 - {}^qT^m t^x S_z^y b^u z^p$	26	63	tП7	t	—
28	49 }		27	64	mП8	m	—
29	1	1	28	65	qП9	q	—
30	0	0	29	66	ДПА	D	—
31	0	0	30	67	C $_v$ ПВ	C_v	—
32	0	0	31	68	l $_\Sigma$ ПC	L_Σ	—
33	ИПВ	C_v	32	69	1ПД	1	—
34	\times	$10^3 C_v$	33	70	В/0	—	—
35	F π	π	34	71	С/П	$t_{обp}; n$	—
36	\div	$10^3 C_v / \pi$	35		(2 раза)		

и шириной обрабатываемой поверхности, а также глубиной резания. Для выполнения каждого последующего задания данной серии программа тоже корректируется (табл. 53). При этом учитывается также изменение диаметра и числа зубьев фрезы, подачи на зуб, коэффици-

52. Корректировка программы (см. табл. 51) при изменении фрезы

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1	$zП1$	z	—
2	$yП4$	y	—
3	$SzП5$	S_z	—
4	$DПA$	D	—
5	$C_vПB$	C_v	—
6	$1ПD$	1	—
7	$B/0$	—	—
8	$C/П$ (2 раза)	$t_{обр}; n$	—

Примечания: 1. При решении задания № 46 содержание регистров памяти $П4$ и $ПB$ (шаги 2 и 5) не корректируется. 2. При решении заданий № 47, 48, 51 содержание регистра памяти $ПA$ (шаг 4) не корректируется.

53. Корректировка программы (см. табл. 51) при переходе от задания к заданию

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1	$zП1$	z	—
2	$bП3$	b	—
3	$yП4$	y	—
4	$SzП5$	S_z	—
5	$tП7$	t	—
6	$DПA$	D	—
7	$C_vПB$	C_v	—
8	$L_{\Sigma}ПC$	L_{Σ}	—
9	$1ПD$	1	—
10	$B/0$	—	—
11	$C/П$ (2 раза)	$t_{обр}; n$	—

циента C_v и показателя степени y от задания к заданию. Следовательно, при корректировке в определенные регистры памяти ($П1$, $П3$, $П4$, $П5$, $П7$, $ПA$, $ПB$, $ПC$) необходимо ввести соответствующие значения названных выше параметров. В этом случае в регистр памяти также заносится единица — $1П$.

Таким образом, записанная один раз программа позволяет решать любое из заданий № 46...55 в любой последовательности.

1.6. Выполнение заданий № 46...55

Пример выполнения задания № 46. Содержание этого задания приведено на с. 60. При решении выполняем нижеследующие действия.

Пользуясь табл. 50, находим исходные данные по заданию № 46 для мелкозубой фрезы № 1.

Распределяем выбранные исходные данные по регистрам памяти: 0,1П0; 16П1; 0,1П2; 70П3; 0,4П4; 0,11П5; 0,3П6; 2,5П7; 0,33П8; 0,45П9; 80ПА; 35,4ПВ; 120ПС; 1ПД.

Вводим программу расчета времени обработки и частоты вращения инструмента (см. табл. 51) в микрокалькулятор и, произведя вычисления, получаем время обработки и частоту вращения инструмента при фрезеровании плоской поверхности цилиндрической фрезой № 1: $t_{\text{обр}} = 0,41$ мин; $n = 165$ мин⁻¹.

Корректируем программу расчета (см. табл. 52) и, произведя вычисления, получаем время обработки и частоту вращения инструмента при фрезеровании плоской поверхности цилиндрической фрезой № 2: $t_{\text{обр}2} = 0,46$ мин; $n_2 = 159$ мин⁻¹.

Содержания заданий № 47...55 и их решения аналогичны содержанию и решению задания № 46. Ответы к заданиям № 46...55 приведены в табл. 54.

54. Ответы к заданиям № 46...55

№ задания	$t_{\text{обр}1}$, мин	n_1 , мин ⁻¹	$t_{\text{обр}2}$, мин	n_2 , мин ⁻¹
46	0,41	165	0,46	159
47	0,82	228	0,98	203
48	1,16	170	1,14	136
49	1,47	150	1,36	108
50	1,91	156	1,77	112
51	1,63	179	1,61	143
52	2,21	235	1,93	126
53	1,49	185	1,7	205
54	2,12	184	2,59	176
55	3,32	214	2,3	103

4.7. Задания № 56...65

Постановка задачи: определить подачу на зуб S_z , влияющую на время обработки $t_{\text{обр}}$, т. е. на производительность при черновом фрезеровании плоской

55. Условия заданий № 56...65

№ зада- ния	Материал режущей части фрезы	L*, мм	b, мм	L*, мм	LΣ, мм	D, мм	z	t, мм	T, мин	t _{обр} , мин	u	x	m	q	p	y	C _o
56	T15K6	100	85	320	370	100	10	3,5	180	0,5	0,08	0,38	0,33	0,17	0,1	0,28	700
57	BK6	72	60	250	300			3		0,25	0,23	0,4	0,42	0,37	0,14	0,47	750
58	T15K6	100	80	350	400	125	12	1,5		0,3	0,08	0,19	0,33	0,17	0,1	0,28	616
59	BK6	70	60	300	350			2		0,25	0,23	0,13	0,42	0,37	0,14	0,47	588
60	T15K6	96	90	370	420	80	8	3		0,4	0,08	0,19	0,33	0,17	0,1	0,28	616
61	BK6	70	60	250	300					0,27	0,23	0,4	0,42	0,37	0,14	0,47	750
62	T15K6	45	35	300	350			1,5		0,4	0,08	0,38	0,33	0,17	0,1	0,28	616
63	BK6	96	80	200	250	63		2,2		0,18	0,23	0,13	0,42	0,37	0,14	0,47	588
64	T15K6	70	55	230	280			2,5		0,23	0,08	0,19	0,33	0,17	0,1	0,28	700
65	BK6	45	35	270	320			3		0,2	0,23	0,4	0,42	0,37	0,14	0,47	750

* Эти параметры не входят в уравнение (23), но влияют на значения b и L_{Σ} .

поверхности фрезой, оснащенной пластинами из твердого сплава.

Ц е л ь з а д а н и я: выявить зависимость подачи на зуб от параметров фрезы (диаметр D , число z зубьев), глубины резания t и размеров обрабатываемой поверхности (ширина b , длина L_z).

П е р е м е н н ы е ф а к т о р ы: параметры фрезы; размеры обрабатываемой поверхности, определяющие рабочий ход L_Σ ; глубина резания; материал инструмента; время обработки.

П о с т о я н н ы е ф а к т о р ы: метод фрезерования; отсутствие охлаждения; период стойкости фрезы.

В каждом задании определяют подачу на зуб при фрезеровании поверхности заданных размеров оснащенной твердосплавными пластинами цилиндрической фрезой с определенными параметрами при заданных времени обработки и глубине резания (переменные факторы от задания к заданию). Период T стойкости фрезы во всех заданиях постоянный и равен 180 мин.

Условия заданий № 56...65 приведены в табл. 55, где также даны значения коэффициента C_v и показателей степени уравнения (23).

О б р а з е ц з а д а н и я

З а д а н и е № 56. Определить подачу на зуб S_z фрезы диаметром $D = 100$ мм с числом зубьев $z = 10$, оснащенной пластинами из твердого сплава Т15К6, при черновой обработке заготовки шириной $b = 85$ мм, длиной $L_z = 320$ мм (рабочий ход $L_\Sigma = 370$ мм), если глубина фрезерования $t = 3,5$ мм, время обработки $t_{обp} = 0,5$ мин, период стойкости фрезы $T = 180$ мин.

4.8. Программа для заданий № 56...65

Уравнение для определения подачи на зуб, в целях решения которого составлена приведенная ниже программа, получают, приравнявая преобразованное уравнение (21) и уравнение (19). Преобразованное уравнение (21) имеет следующий вид:

$$n = \frac{L_\Sigma}{S_z z t_{обp}}. \quad (22)$$

Таким образом, получаем равенство

$$\frac{L_{\Sigma}}{S_z z t_{обр}} = \frac{10^3 C_v K_v}{\pi D^{1-q} T^m t^x S_z^y b^u z^p}.$$

Принимая $K_v = 1$, получаем следующее уравнение для расчета подачи на зуб, мм/зуб:

$$S_z = \left(\frac{\pi L_{\Sigma}}{10^3 C_v t_{обр}} \cdot \frac{D^{1-q} T^m t^x b^u}{z^{1-p}} \right)^{\frac{1}{1-y}}. \quad (23)$$

Для записи значений промежуточных сомножителей (b^u ; $t^x b^u$; $T^m t^x b^u$; $D^{1-q} T^m t^x b^u$) выделен регистр D , в который перед началом расчета и при повторных расчетах записывается единица — $1ПД$.

В соответствии с переменными факторами заданий № 56...65 распределяем регистры памяти следующим образом: $uП0$; $ВП1$; $xП2$; $tП3$; $mП4$; $qП5$; $DП6$; $pП7$; $zП8$; $L_{\Sigma}П9$; $C_vПA$; $t_{обр}ПB$; $yПC$. Возможна любая другая последовательность при распределении регистров памяти.

Программа расчета подачи на зуб имеет следующие особенности:

возведение в степень сомножителей и умножение их между собой в соответствии со структурой уравнения (23) выделены в подпрограмму (адреса 48...52), которая обеспечивает возведение в степень (адрес 48), извлечение содержимого регистра D (адрес 49), умножение этих величин и запись результата в регистр D (адреса 50, 51); затем оператором $B/0$ осуществляется возврат из подпрограммы к основной программе;

основная программа (адреса 00...47) содержит четыре обращения к подпрограмме;

поскольку все 14 регистров памяти использованы, то значение периода T стойкости фрезы (180 мин) и коэффициент 10^3 внесены непосредственно в программу (адреса 09...11 и 36...39), что несколько удлиняет ее.

Программа расчета заданий № 56...65 (подача на зуб) оформлена в виде табл. 56. Задания этой серии (см. табл. 55) различаются параметрами фрезы, размерами обрабатываемой поверхности, глубиной резания, временем обработки и материалом режущей части инструмента, что обуславливает различные значения коэффициента C_v и показателей степени уравнения (23).

Для выполнения каждого последующего задания данной серии программа корректируется, т. е. в регистры памяти $П0...П9$, $ПA$, $ПB$ и $ПC$ записываются значения соответствующих решаемому заданию переменных пара-

56. Программа расчета подачи на зуб при фрезеровании плоской поверхности цилиндрической фрезой, оснащенной твердосплавными пластинами

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес	Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1а	ФПРГ	—	—	36	÷	$\pi L_{\Sigma} D^{1-q} T^m t^x b^u$	35
1	ИПО	u	00			$C_v t_{обр} z^{1-p}$	
2	ИП1	b	01	37	1	1	36
3	ПП	b^u	02	38	0	0	37
4	48 }		03	39	0	0	38
5	ИП2	\times	04	40	0	0	39
6	ИП3	t	05	41	÷	$\pi L_{\Sigma} D^{1-q} T^m t^x b^u$	40
7	ПП	$t^x b^u$	06			$10^3 C_v t_{обр} z^{1-p}$	
8	48 }		07	42	1	1	41
9	ИП4	m	08	43	ИПС	y	42
10	1	1	09	44	—	$1 - y$	43
11	8	8	10	45	$F^{1/x}$	$1/(1 - y)$	44
12	0	0	11	46	xy	—	45
13	ПП	$T^m t^x b^u$	12	47	FX^y	S_z	46
14	48 }		13	48	$C/П$	S_z	47
15	1	1	14	49	FX^y	—	48
16	ИП5	q	15	50	ИПД	—	49
17	—	$1 - q$	16	51	\times	—	50
18	ИП6	D	17	52	ПД	—	51
19	ПП	$D^{1-q} T^m$	18	53	$B/0$	—	52
20	48 }		19	54	ФАВТ	—	—
21	1	1	20	55	ИПО	u	—
22	ИП7	p	21	56	ВП1	b	—
23	—	$1 - p$	22	57	$xП2$	x	—
24	ИП8	z	23	58	$tП3$	t	—
25	FX^y	z^{1-p}	24	59	$mП4$	m	—
26	ИПД	$D^{1-q} T^m t^x b^u$	25	60	$qП5$	q	—
27	xy	—	26	61	$DП6$	D	—
28	÷	$D^{1-q} T^m t^x b^u / z^{1-p}$	27	62	$pП7$	p	—
29	ИП9	L_{Σ}	28	63	$zП8$	z	—
30	\times	$L_{\Sigma} D^{1-q} T^m t^x b^u / z^{1-p}$	29	64	$l_{\Sigma}П9$	L_{Σ}	—
31	$F\pi$	π	30	65	$C_vПA$	C_v	—
32	\times	$\pi L_{\Sigma} D^{1-q} T^m t^x b^u / z^{1-p}$	31	66	$t_{обр}ПB$	$t_{обр}$	—
33	ИПА	C_v	32	67	$yПC$	y	—
34	÷	$\pi L_{\Sigma} D^{1-q} T^m t^x B^u$	33	68	$1ПD$	1	—
		$C_v z^{1-p}$		69	$B/0$	—	—
35	ИПВ	$t_{обр}$	34	70	$C/П$	—	—

метров, а в регистр памяти — единица — 1П (шаги 54...70).

Таким образом, записанная один раз программа позволяет решать любое из заданий № 56...65 в любой последовательности.

4.9. Выполнение заданий № 56...65

Пример выполнения задания № 56. Содержание этого задания приведено на с. 66. При решении выполняем нижеследующие действия.

Пользуясь табл. 55, находим исходные данные задания № 56 и распределяем их по регистрам памяти следующим образом: 0,8П0; 85П1; 0,38П2; 3,5П3; 0,33П4; 0,17П5; 100П6; 0,1П7; 10П8; 370П9; 700ПА; 0,5ПВ; 0,28ПС и запишем 1ПД.

Вводим программу расчета подачи на зуб (см. табл. 56) в микрокалькулятор и, произведя вычисления, получаем ее значение при фрезеровании плоской поверхности цилиндрической фрезой, оснащенной пластинами из твердого сплава: $S_z = 0,14$ мм/зуб.

Содержания заданий № 57...65 и их решения аналогичны содержанию и решению задания № 56. Ответы к заданиям № 56...65 приведены ниже.

№ задания . . .	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
S_z , мм/зуб . . .	0,14	0,21	0,22	0,23	0,17	0,2	0,12	0,22	0,13	0,24

5. ТОРЦОВОЕ ФРЕЗЕРОВАНИЕ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ. ПРОГРАММА С УСЛОВНЫМ ПЕРЕХОДОМ ТИПА $x = 0$ И ПРОГРАММА С ОПЕРАТОРОМ ЦИКЛА

В большинстве случаев торцовыми фрезами обрабатывают плоские поверхности больших размеров. Кроме того, этот вид обработки применяют также для обеспечения высокой производительности процесса.

5.1. Характеристика операции

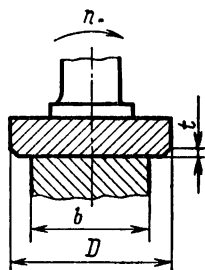


Рис. 6. Схема фрезерования плоской поверхности торцовой фрезой

Х а р а к т е р н ы е о с о б е н н о с т и о п е р а ц и и:
применение крупных фрез со сменными зубьями из износостойких материалов, что позволяет удалять большие припуски при высокой производительности и большом периоде стойкости инструмента, в том числе и при работе по корке;

высокая скорость резания при небольших и средних частотах вращения шпинделя за счет применения фрез большого диаметра;

эффективное охлаждение инструмента в зоне резания, включая в ряде случаев подачу СОЖ под давлением; надежный отвод стружки;

консольное закрепление инструмента, что требует высокой жесткости шпинделя и станины станка;

применение сборных фрез с точной установкой и регулированием сменных режущих элементов из высокопроизводительных, эффективных материалов непосредственно в инструментальном цехе;

возможность установки и закрепления новой заготовки без прекращения фрезерования предыдущей, в частности, на станке с круглым столом;

обеспечение шероховатости $Ra = 1,25...20$ мкм при чистовой обработке и $Ra = 20...160$ мкм при черновой.

К р и т е р и и э ф ф е к т и в н о с т и аналогичны критериям эффективности цилиндрического фрезерования.

5.2. Режимы резания

Для торцового фрезерования чаще всего применяют вертикально-фрезерные станки с прямоугольным или круглым столом. В процессе обработки фреза вращается, а подача осуществляется столом, на котором установлена и закреплена заготовка. Так же, как и при цилиндрическом фрезеровании, различают три вида подач: на зуб (S_z), на оборот (S) и в минуту (S_m); аналогична и связь между этими подачами ($S_m = S n = S_z z n$, $\text{м} \times \text{мин}^{-1}$). В отличие от цилиндрического фрезерования глубина резания t не определяет продолжительности контакта зуба с заготовкой.

При чистовом фрезеровании подача на зуб назначается в зависимости от требуемой шероховатости обработанной поверхности и обрабатываемого материала (табл. 57).

Скорость резания торцовыми регулируемыми фрезами с механически закрепляемыми круглыми пластинами за-

57. Рекомендуемые значения подачи на зуб S_z (мм/зуб) при торцовом фрезеровании

Обрабатываемый материал	Шероховатость поверхности Ra , мкм			
	0,16 . 0,32	0,32 ..0,63	0,63...0,8	0,8 . 1,25
Закаленные стали (HRC ₂ , 40...70)	0,02...0,04	0,04...0,06	0,06...0,08	0,1...0,12
Серые чугуны (HB 150...300)	—	0,02...0,04	0,04...0,06	0,06.. 0,08

58. Рекомендуемые значения скорости резания при торцовом фрезеровании

Закаленные стали (HRC ₂ , 55...70)					Серые чугуны (HB 150...350)			
Глубина резания <i>t</i> , мм	Скорость резания <i>v</i> (м·мин ⁻¹) при подаче на зуб <i>S_z</i> , мм/зуб				Глубина резания <i>t</i> , мм	Скорость резания <i>v</i> (м·мин ⁻¹) при подаче на зуб <i>S_z</i> , мм/зуб		
	до 0,02	до 0,04	до 0,06	до 0,08		до 0,06	до 0,08	до 0,12
0,05	210	190	170	150	0,1	1420	1190	930
0,1	190	170	150	140	0,2	1310	1100	860
0,2	170	150	140	125	0,3	1250	1050	820
0,4	150	140	125	100	0,4	1230	1030	810

Примечание. Приведенные значения соответствуют периоду стойкости инструмента $T = 90$ мин при обработке закаленных сталей и $T = 300$ мин — при обработке серых чугунов.

висит от обрабатываемого материала, глубины резания и подачи на зуб (табл. 58).

5.3. Инструмент

Торцовые фрезы, оснащенные режущими вставками из композита — сверхтвердого синтетического материала на основе нитрида бора, применяют наряду с торцовыми фрезами из быстрорежущей стали и фрезами с пластинами из твердого сплава. Композит эффективен при получистовой и чистовой обработке.

Фрезы с режущими вставками из композита представляют собой инструмент нового поколения, обеспечивающий интенсивность съема, присущую процессу фрезеро-

вания, в сочетании со скоростью резания и шероховатостью обработанной поверхности, характерными для шлифования. Это позволяет существенно усовершенствовать технологию обработки. Например, при обработке заготовок корпусных чугунных деталей можно исключить окончательное шлифование, которое часто необходимо, если фрезерование выполняют инструментами, оснащенными пластинами из твердого сплава.

При выборе конструкции фрез с вставками из композита предпочтение следует отдавать регулируемым фрезам с механическим креплением пластин. Регулировать эти фрезы нужно так, чтобы торцовое биение режущих пластин не превышало 5 мкм.

Для чистового фрезерования сталей (незакаленных и закаленных) с глубиной резания $t < 0,2$ мм, а также серого чугуна рекомендуется применять фрезы с режущими вставками из композита.

Взаимосвязь диаметра и числа зубьев фрез с круглыми пластинами из композита 10 показана ниже.

D , мм . .	100	125	160	200	250
z . . .	8	10	12	16	20

5.4. Задания № 66...75

П о с т а н о в к а з а д а ч и: определить суммарное время обработки при торцовом фрезеровании нескольких групп заготовок, когда число последних в группах одинаково, а их длина одинакова в одной группе, но изменяется (уменьшается) от группы к группе.

Ц е л ь з а д а н и я: выявить зависимость времени обработки от количества и размеров обрабатываемых заготовок (число групп заготовок и число заготовок в группах), параметров фрезы (диаметр и число зубьев) и режимов резания (скорость резания, подача на зуб и глубина резания).

П е р е м е н н ы е ф а к т о р ы: длина обрабатываемых заготовок в различных группах (внутри одного задания); длина заготовок 1-й группы, приращение (отрицательное) длины ΔL_z , ширина заготовки, расстояние между соседними заготовками группы, число заготовок в группе, число групп заготовок, параметры фрезы, режимы резания, обрабатываемый материал и шероховатость обработанной поверхности (от задания к заданию).

Постоянные факторы: материал режущих пластин; период стойкости инструмента.

В каждом задании определяют суммарное время фрезерования нескольких групп заготовок с различной длиной последних в группах (переменный фактор задания) торцовыми фрезами с различными параметрами и с различными режимами резания при определенных ширине заготовок, расстоянии между ними и приращении (отрицательном) длины заготовок между группами (эти факторы постоянны для конкретного задания, но изменяются от задания к заданию).

Условия заданий № 66...75 приведены в табл. 59.

59. Условия для заданий № 66...75

№ задания	Обрабатываемый материал	Ra , мкм	$L_{з1}$, мм	b , мм	$\Delta L_{з1}$, мм	c , мм	m	k	$L_{ан}$, мм	D , мм	z	S_z , мм/зуб	v , м·мин ⁻¹	t , мм
66	Ст	0,16	300	70	50	5	5	6	115	100	8	0,02	210	0,05
67	СЧ	0,32	400	90	40	7	4	10	140	125	10		1420	0,1
68	Ст		500	110	110	10	3	5	175	160	12	0,04	170	
69	СЧ	0,63	600	140	120	12			215	200	16		1310	0,2
70	Ст		300	80	60	5	4		140	125	10	0,06	140	
71	СЧ	0,8	400	100	80	7	5	4	175	160	12		1250	0,3
72	Ст	1,25	500	120	125	10	4		215	200	16	0,12	80	0,4
73	СЧ		600	160	60	12	3	10	265	250	20	0,08	1030	
74	Ст	0,16	300	90	25	5	5	12	140	125	10	0,02	190	0,1
75	СЧ	0,32	400	110	50	7	4	8	175	160	12		1310	0,2

Примечание. Ст — закаленная сталь (HRC₂ 40...50); СЧ — серый чугун (HB 150...300); $L_{з1}$ — длина заготовок 1-й группы.

Образец задания

Задание № 66. Определить суммарное время фрезерования поверхности заготовок, разделенных на шесть групп ($k = 6$) по пять заготовок в каждой группе ($m = 5$) и устанавливаемых в соответствии с рис. 7.

Длина заготовок 1-й группы $L_{з1} = 300$ мм, длина заготовок каждой последующей группы уменьшается на 50 мм ($\Delta L_z = 50$ мм); ширина заготовок $b = 70$ мм; расстояние между соседними заготовками группы $c = 5$ мм; общая длина врезания и перебега фрезы $L_{вп} = 115$ мм. Материал заготовок — закаленная сталь (HRC₃ 50); шероховатость обработанной поверхности $Ra = 0,16$ мкм.

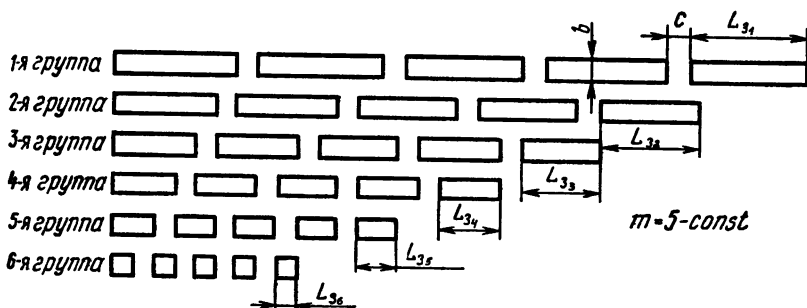


Рис. 7. Заготовки, подвергаемые торцовому фрезерованию

Обработка осуществляется торцевой фрезой с режущими пластинами из композита 10; диаметр фрезы $D = 100$ мм, число зубьев $z = 8$. Режим резания: скорость резания $v = 210$ м·мин⁻¹; подача $S_z = 0,02$ мм/зуб; глубина резания $t = 0,05$ мм.

5.5. Программа с условным переходом типа $x=0$ для заданий № 66...75

Машинное время (мин) фрезерования одной группы заготовок определяется уравнением

$$t_{обp_i} = \frac{L_{зi}m + c(m-1) + L_{вп}}{S_z n z} \quad (24)$$

Если выразить частоту вращения фрезы через скорость резания, уравнение (24) приобретает следующий вид:

$$t_{обp_i} = \frac{\pi D [L_{зi}m + c(m-1) + L_{вп}]}{10^3 v S_z z} \quad (25)$$

Суммарное время обработки $\Sigma t_{обp}$ (мин) всех заготовок шести групп (при их последовательной обработке) определяется уравнением

$$\sum_{i=1}^k t_{обр} = \sum_{i=1}^k \frac{\pi D [L_{3,m} + c(m-1) + L_{вп}]}{10^3 v S_z z}. \quad (26)$$

Решение уравнения (26) требует последовательного суммирования времени фрезерования заготовок всех

групп: $\sum_{i=1}^k t_{обр_i} = t_{обр_1} + \dots + t_{обр_k}$. От группы к группе изменяется длина заготовок $L_{3,i}$, т. е. $L_{3,2} = L_{3,1} - \Delta L_3$, $L_{3,3} = L_{3,2} - \Delta L_3$, ..., $L_{3,i} = L_{3,i-1} - \Delta L_3$, поэтому программа расчета должна включать в себя фрагменты, выполняющие эти действия.

Регистр памяти 0 выделяют для записи длины обрабатываемых заготовок, которая изменяется от максимального значения в 1-й группе до минимального значения в последней группе, равного приращению длины (отрицательному).

Регистр памяти А выделяем для записи времени обработки, которое увеличивается от 0 (начальная запись в этом регистре — 0ПА) до конечного суммарного значения.

В соответствии с переменными факторами заданий № 66...75 регистры памяти распределяются, как указано в табл. 60.

Программу решения уравнения (26) можно разделить на части:

расчет времени фрезерования $t_{обр}$ заготовок 1-й группы, длина которых L_3 максимальна (адреса (00...22);

суммирование времени обработки, т. е. $\sum t_{обр_i} = t_{обр_1} + t_{обр_2} + \dots + t_{обр_i}$; для этого в регистре А первоначально записывается ноль; содержание регистра А извлекается (адрес 23), к нему прибавляется значение $t_{обр_i}$ и результат снова помещается в регистр А (адреса 24, 25); когда произведен расчет следующего значения $t_{обр}$, например $t_{обр_5}$, из регистра А извлекаются уже записанные там значения $(t_{обр_1} + t_{обр_2} + t_{обр_3} + t_{обр_4})$, к которым прибавляется значение $t_{обр_5}$, и результат снова заносится в регистр А; таким образом, фрагмент с адресами 23...25 выполняет последовательное суммирование

любого числа слагаемых $t_{обр_i}$ и сумму $\sum_{i=1}^k t_{обр_i}$ сохраняет в регистре А;

при переходе к обработке заготовок следующей группы длина заготовок уменьшается на величину, равную ΔL_3 ; действие уменьшения длины производится опера-

60. Распределение регистров памяти

№ зада- ния	Регистр памяти										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A
	Величина, записываемая в регистр										
	$L_{з1},$ мм	m	$c, \text{ мм}$	$L_{вп},$ мм	$D, \text{ мм}$	10^3	$v,$ $\text{м} \cdot \text{мин}^{-1}$	$S_z,$ мм/зуб	z	$\Delta L_{з1},$ мм	0
66	300	5	5	115	100	10^3	210	0,02	8	50	0
67	400	4	7	140	125		1420		10	40	
68	500	3	10	175	160		170	0,04	12	100	
69	600		12	215	200		1310		16	120	
70	300	4	5	140	125		140	0,06	10	60	
71	400	5	7	175	160		1250		12	80	
72	500	4	10	215	200		80	0,12	16	125	
73	600	3	12	265	250		1030	0,08	20	60	
74	300	5	5	140	125		190	0,02	10	25	
75	400	4	7	175	160		1310		12	50	

торами по адресам 26...28; новое значение длины $L_{зi}$ — $\Delta L_{зi}$ записывается в регистр 0, заменяя предыдущее; числовые значения $L_{зi}$ и $\Delta L_{зi}$ подобраны таким образом, что последнее значение длины равно $\Delta L_{зi}$, т. е. $L_{зi} = \Delta L_{зi}$, и прекращение вычисления происходит при $L_{зi+1} = 0$, поэтому содержание регистра 0 проверяется на ноль (оператор $Fx = 0$ — адрес 30); если условие не выполняется ($L_{зi} \neq 0$), то расчет повторяется; для этого адрес 31 указывает, что управление передается на оператор с адресом 34, т. е. осуществляется безусловный переход к началу программы на адрес 00; эти действия заданы адресами 34 и 35; такая процедура будет продолжаться до тех пор, пока длина $L_{зi}$ не станет равной нулю;

когда значение $L_{зi}$ достигнет нуля и будет выполнено условие $Fx = 0$, управление передается на адреса 32, 33; здесь оператор ИПА извлекает содержимое регистра

$A(\sum_{i=1}^k t_{обp_i})$ и это значение выдается на индикатор.

Иногда возникает потребность повторить только что выполненный расчет. Однако надо иметь в виду, что при выполнении расчета изменяется содержание регистров 0 и A; в первом вместо L_3 записан ноль, во втором

вместо нуля — сумма $\sum_{i=1}^k t_{обp_i}$. Поэтому при повторении расчета следует заново записать в эти регистры L_3 и 0, т. е. следует совершить действия L_3PO ; OPA ; $B/0$; C/P .

Программа решения заданий № 66...75 (суммарное время фрезерования) оформлена в виде табл. 61. Задания этой серии (см. табл. 59) различаются числом групп и количеством заготовок в группах, размерами обрабатываемых заготовок и расстоянием между ними, параметрами фрезы и режимами резания.

Для выполнения каждого последующего задания данной серии программу корректируют, т. е. в регистры памяти $PO...P9$ записывают значения переменных параметров, соответствующие решаемому заданию (см. табл. 60). Кроме того, в регистр памяти A записывают 0 (шаги 37...50).

Таким образом, записанная один раз программа позволяет решать любое из заданий № 66...75 в любой последовательности.

61. Программа расчета суммарного времени фрезерования плоской поверхности торцовой фрезой

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес	Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1a	ФПРГ	—	—	14	Фл	π	13
1	ИПО	L_{3i}	00	15	×	$\pi D\alpha$	14
2	ИП1	m	01	16	ИП5	10^3	15
3	×	$L_3 m$	02	17	÷	$\pi D\alpha / 10^3$	16
4	ИП1	m	03	18	ИП6	v	17
5	1	1	04	19	÷	$\pi D\alpha / 10^3 v$	18
6	—	$m - 1$	05	20	ИП7	S_z	19
7	ИП2	c	06	21	÷	$\pi D\alpha / 10^3 v S_z$	20
8	×	$c(m - 1)$	07	22	ИП8	z	21
9	+	$L_3 m - c(m - 1)$	08	23	÷	$t_{обi}$	22
10	ИЗ	L	09	24	ИПА	—	23
11	+	α	10	25	+	$t_{обp_i}$	24
12	ИП4	D	11	26	ПА	$\sum t_{обp_i}$	25
13	×	$D\alpha$	12	27	ИПО	L_{3i}	26

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес	Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
28	ИП9	ΔL_3	27	40	сП2	c	—
29	—	$L_3 - \Delta L_3$	28	41	$L_{вп}П3$	$L_{вп}$	—
30	П0	$L_3 - \Delta L_3$	29	42	ДП4	D	—
31	$FX=0$	—	30	43	$10^3П5$	10^3	—
32	34	—	31	44	вП6	v	—
33	ИПА	—	33	45	$S_zП7$	S_z	—
34	С/П	$\Sigma t_{обр}$	33	46	zП8	z	—
35	В/П	—	34	47	$\Delta L_3П9$	ΔL_3	—
36	00	—	35	48	ОПА	—	—
37	FAVT	—	—	49	В/0	—	—
38	$L_3П0$	L_3	—	50	С/П	—	—
39	тП1	t	—				

Примечание. $\alpha = L_3 m + c(m - 1) + L_{вп}$.

5.6. Выполнение заданий № 66...75

Пример выполнения задания № 66. Содержание этого задания приведено на с. 73. При решении выполняем нижеследующие действия.

Пользуясь табл. 60 (верхняя строка), записываем в регистры памяти микрокалькулятора соответствующие значения исходных данных.

Вводим программу расчета суммарного времени фрезерования (см. табл. 61) в микрокалькулятор и, производя вычисления, получаем суммарное время фрезерования стальных заготовок торцовой фрезой: $\Sigma t_{обр} = 56,6$ мин.

Содержания заданий № 67...75 и их решения аналогичны содержанию и решению задания № 66. Ответы к заданиям № 66...75 приведены ниже.

№ задания	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
$\Sigma t_{обр}$	56,6	14,3	33,7	4,9	20,4	3,9	24,4	6	120,5	14

5.7. Задания № 76...85. Программа с оператором цикла

Постановка задачи: определить суммарное время обработки при торцовом фрезеровании заготовок нескольких групп, когда число заготовок в группах различно, а длина заготовок одинакова в одной группе, но изменяется (увеличивается) от группы к группе.

Цель задания: выявить зависимость времени

62. Условия заданий № 76...85

№ задания	Обрабатываемый материал	R_a , мкм	L_{31} , мм	b , мм	ΔL_3	c	m_1	k	L_{np} , мм	D , мм	z	S_z , мм/зуб	v , м·мин ⁻¹	t , мм
76	Ст	0,16	300	70	50	7	7	7	115	100	8	0,02	210	0,05
77	СЧ	0,32	250	90	55		8	8	140	125	10		1420	0,1
78	Ст		200	110	45	6	10	10	175	160	12	0,04	170	0,2
79	СЧ	0,63	350	140	35	8	6	6	215	200	16		1310	
80	Ст		400	80	30	10	5	5	140	125	10	0,06	140	0,3
81	СЧ	0,8	450	100	25	12	4	4	175	160	12		1250	
82	Ст	1,25	175	120	35	6	12	12	215	200	16	0,12	80	0,4
83	СЧ		150	160	40	5	14	14	265	250	20	0,08	1030	
84	Ст	0,16	125	90	50		7	7	140	125	10	0,02	190	0,1
85	СЧ	0,32	100	110	60	4	13	13	175	160	12		1310	0,2

Примечание. Ст — закаленная сталь (HRC₂ — 40...50); СЧ — серый чугун (HB 150...300); L_3 и m_1 — соответственно длина и количество заготовок в 1-й группе.

обработки от количества и размеров обрабатываемых заготовок (число групп заготовок и число заготовок в группах), параметров фрезы (диаметр и число зубьев) и режимов резания (скорость и глубина резания, подача на зуб).

Переменные факторы: длина обрабатываемых заготовок в различных группах и число заготовок в группах, причем длина увеличивается, а число уменьшается (внутри одного задания); длина заготовок 1-й группы, приращение длины, ширина заготовок, расстояние между соседними заготовками группы, число групп заготовок, параметры фрезы, режимы резания, обрабатываемый материал, шероховатость обработанной поверхности (от задания к заданию).

Постоянные факторы: материал режущих пластин; период стойкости инструмента.

В каждом задании определяют суммарное время фрезерования заготовок нескольких групп с различными

числом и длиной заготовок в группах (переменные факторы задания) торцовыми фрезами с различными параметрами и с различными режимами резания при определенных ширине заготовок, расстоянии между ними и приращении длины заготовок между группами (эти факторы постоянны для конкретного задания, но изменяются от задания к заданию).

Условия заданий № 76...85 приведены в табл. 62.

Образец задания

Задание № 76. Определить суммарное время фрезерования поверхности заготовок, разделенных на семь групп ($k = 7$), с уменьшающимся числом заготовок в группах: от максимального и равного k в 1-й группе

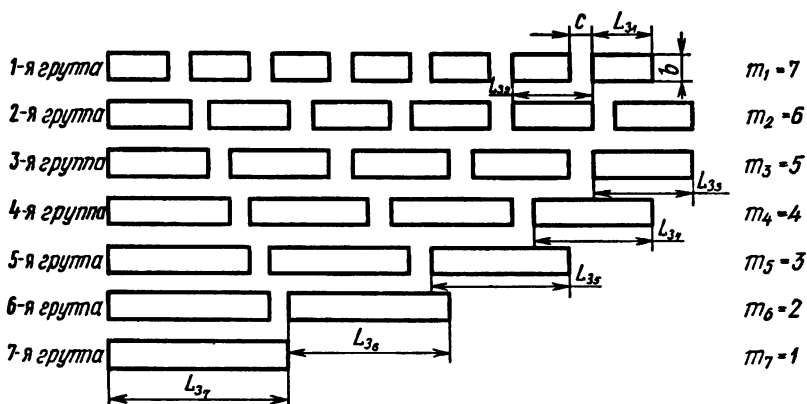


Рис. 8. Заготовки, подвергаемые торцовому фрезерованию фрезами с режущими пластинами из композита

($m_1 = 7$) до равного единице в последней группе; заготовки устанавливаются в соответствии с рис. 8.

Длина и количество заготовок в группах указаны ниже.

Группа	1	2	3	4	5	6	7
L_3	300	350	400	450	500	550	600
m	7	6	5	4	3	2	1

Ширина заготовок $b = 70$ мм; расстояние между соседними заготовками группы $c = 7$ мм; общая длина врезания и перебега фрезы $L_{вп} = 115$ мм. Материал заготовок — закаленная сталь (HRC₃50); шероховатость обработанной поверхности $Ra = 0,16$ мкм.

Обработка осуществляется торцевой фрезой с режущими пластинами из композита 20; диаметр фрезы $D = 100$ мм, число зубьев $z = 8$. Режим резания: скорость резания $v = 210$ м · мин⁻¹; подача $S_z = 0,02$ мм/зуб; глубина резания $t = 0,05$ мм.

Приращение длины заготовок от группы к группе постоянно и составляет $\Delta L_s = 50$ мм, а число заготовок в группе уменьшается на единицу, т. е. число групп заготовок равно числу заготовок в 1-й группе.

5.8. Программа с оператором цикла для заданий № 76...85

Суммарное время обработки (мин) при последовательном фрезеровании заготовок всех групп определяется уравнением (27):

$$\sum_{i=1}^{i=k} t_{обp} = \sum_{i=1}^{i=k} \frac{\pi D [L_{si} m_i + c(m_i - 1) + L_{вп}]}{10^3 v S_z z}, \quad (27)$$

где L_{si} — длина заготовок в группе, m_i — количество заготовок в группе, причем $i = 1...k$. Остальные параметры уравнения (27) аналогичны параметрам уравнения (26).

Решение уравнения (27) требует последовательного суммирования времени фрезерования всех групп заготовок:

$$\sum_{i=1}^k t_{обp_i} = t_{обp_1} + t_{обp_2} + \dots + t_{обp_k}.$$

От группы к группе изменяются длина L_{si} и количество заготовок m_i , т. е. одновременно два аргумента, поэтому программа расчета должна содержать фрагменты, обеспечивающие изменение L_{si} и m_i после вычисления времени $t_{обp_i}$ обработки заготовок одной группы и перехода к вычислению времени обработки заготовок следующей группы. Кроме того, все числовые значения $t_{обp_i}$ должны последовательно суммироваться так, чтобы в конце расчета можно было получить суммарное время обработки $\Sigma t_{обp}$.

Регистр памяти A выделяем для записи времени обработки, которое увеличивается от нуля (начальная запись в этом регистре — 0ПА) до конечного суммарного значения.

В соответствии с переменными факторами заданий № 76...85 регистры памяти распределяются, как указано далее.

Регистр памяти . . 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
 Величина, записы-
 ваемая в регистр L_{3i} , m_i , c , $L_{\text{вп}}$, D , 10^3 , v , S_z , z , ΔL_3

Программу решения уравнения (27) можно разделить на следующие части:

вычисление машинного времени обработки заготовок 1-й группы, когда количество m_1 заготовок в группе максимально, а их длина L_{31} минимальна (адреса 00...22);
 суммирование машинного времени фрезерования

$\sum_{i=1}^k t_{\text{обр}} = t_{\text{обр}1} + \dots + t_{\text{обр}k}$; с этой целью первоначально

в регистр A записывается ноль, затем извлекается содержание регистра A (адрес 23), к нему прибавляется значение $t_{\text{обр}1}$ и результат опять записывается в регистр A (адреса 24, 25); когда при вторичном прохождении программы определяется $t_{\text{обр}2}$, из регистра A извлекается значение $t_{\text{обр}1}$, к нему прибавляется значение $t_{\text{обр}2}$ и сумма $t_{\text{обр}1} + t_{\text{обр}2}$ вновь записывается в регистр A ; таким образом, фрагмент программы с адресами 23...25 выполняет последовательное суммирование значений $t_{\text{обр}1}$, сох-

раня их сумму $\sum_{i=1}^k t_{\text{обр}2}$;

при переходе к обработке заготовок следующей группы изменяются два параметра — длина L_{3i} (увеличивается на ΔL_3) и число m_i заготовок в группе (уменьшается на единицу); эти изменения записаны в программе по адресам 26...29, 30 и 31; изменение длины производится при извлечении из регистра 0 значения L_{3i} (адрес 26), прибавлении к нему приращения ΔL_3 (адреса 27, 28) и записи нового значения $L_{3i} = L_{3i-1} + \Delta L_3$ в регистр 0;

уменьшение числа заготовок в каждой последующей группе производится с помощью оператора цикла $FL1$ (адрес 30); он обеспечивает повторное автоматическое прохождение программы после вычитания единицы из регистра 1 (там записано число m заготовок в группе) и проверки содержимого регистра 1 на ноль; если проверка показывает, что содержимое регистра 1 не равно нулю ($m \neq 0$), то вслед за оператором $FL1$ указан адрес, к которому следует перейти для повторения фрагмента; переход на адрес 00 обеспечивает повторное прохождение программы по адресам 00...30; когда после очередного повторения проверка содержимого регистра 1 на равенство нулю дает положительный ответ ($m = 0$), управ-

ление передается на оператор по адресу 32; в этом случае извлекается содержимое регистра $A \left(\sum_{i=1}^{i=k} t_{обр_i} \right)$ и значение выводится на индикатор (адрес 33).

После записи программы (шаги 1...34) и перехода в режим автоматической работы (шаг 35) исходные данные записываются в регистры 0...9, а в регистр A записывается ноль. Если надо повторить расчет, необходимо иметь в виду, что содержимое трех регистров изменилось: в регистре 0 содержится значение $L_{3i} + \Delta L_3 (m_i - 1)$, в регистре 1 — ноль, в регистре A — сумма $\sum_{i=1}^{i=k} t_{обр_i}$. Поэтому для повторения расчета следует восстановить исходные значения: $L_3 П0$; $m_1 П1$; $0 ПА$; $B/0$; $C/П$.

63. Программа расчета суммарного времени фрезерования плоской поверхности торцевой фрезой

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес	Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1a	ФПРГ	—	—	25	+	$t_{обр}$	24
1	ИП0	L_{3i}	00	26	ПА	$\Sigma t_{обр}$	25
2	ИП1	m_i	01	27	ИП0	L_3	26
3	×	$L_{3i} m_i$	02	28	ИП9	ΔL_3	27
4	ИП1	m_i	03	29	+	$L_3 + \Delta L_3$	28
5	1	1	04	30	П0	$L_3 + \Delta L_3$	29
6	—	$m_i - 1$	05	31	FL1	$m_i \neq 0?$	30
7	ИП2	c	06	32	00	—	31
8	×	$c(m_i - 1)$	07	33	ИПА	$\Sigma t_{обр_i}$	32
9	+	$L_{3i} m_i + c(m_i - 1)$	08	34	С/П	$\Sigma t_{обр_i}$	33
10	ИП3	$L_{вп}$	09	35	FAВ	—	—
11	+	α	10	36	$L_3 П0$	L_3	—
12	ИП4	D	11	37	МП1	m	—
13	×	$D\alpha$	12	38	СП2	c	—
14	FF ₁	π	13	39	$L_{вп} П3$	$L_{вп}$	—
15	×	$\pi D\alpha$	14	40	ДП4	D	—
16	ИП5	10^3	15	41	$10^3 П5$	10^3	—
17	÷	$\pi D\alpha / 10^3$	16	42	ВП6	v	—
18	ИП6	v	17	43	$S_2 П7$	S_z	—
19	÷	$\pi D\alpha / 10^3 v$	18	44	зП8	z	—
20	ИП7	S_z	19	45	$\Delta L_3 П9$	ΔL_3	—
21	÷	$\pi D\alpha / 10^3 v S_z$	20	46	0ПА	—	—
22	ИП8	z	21	47	В/0	—	—
23	÷	$t_{обр}$	22	48	С/П	—	—
24	ИПА	0	23				

Примечание. $\alpha = L_{3i} m_i + c(m_i - 1) + L_{вп}$.

Программа решения заданий № 76...85 (суммарное время фрезерования) оформлена в виде табл. 63. Задания этой серии (см. табл. 62) различаются числом групп заготовок, числом заготовок в группах (которое к тому же уменьшается от максимального значения в 1-й группе до единицы — в последней), размерами обрабатываемых заготовок и расстоянием между ними, параметрами фрезы и режимами резания.

Для выполнения каждого последующего задания данной серии программа корректируется, т. е. в регистры памяти П0...П9 записываются переменные параметры (в соответствии с распределением регистров памяти, указанным на с. 82), значения которых выбираются по табл. 62 для конкретного задания.

Таким образом, записанная один раз программа позволяет решать любое из заданий № 76...85 в любой последовательности.

5.9. Выполнение заданий № 76...85

Пример выполнения задания № 76. Содержание этого задания приведено на с. 80. При решении выполняем нижеследующие действия.

Пользуясь табл. 62 (верхняя строка) с указаниями по распределению регистров памяти (с. 83), записываем в регистры памяти микрокалькулятора соответствующие значения исходных данных: 300П0; 7П1; 7П2; 115П3; 100П4; 10³П5; 210П6; 0,02П7; 8П8; 50П9; 0ПА.

Вводим программу расчета суммарного времени фрезерования (см. табл. 63) в микрокалькулятор и, производя вычисления, получаем суммарное время фрезерования стальных заготовок торцевой фрезой: $\sum t_{\text{обр}i} = 113$ мин.

Содержания заданий № 76...85 и их решения аналогичны содержанию и решению задания № 76. Ответы к заданиям № 76...85 приведены ниже.

№ задания	.	.	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	
$\sum_{i=1}^k t_{\text{обр}i}$.	.	.	113	20	125	7,4	34	3	108	18	76	53

6. СВЕРЛЕНИЕ.

ПРОГРАММА С КОСВЕННЫМ УСЛОВНЫМ ПЕРЕХОДОМ

Сверление — способ образования отверстий методом механической обработки — имеет много разновидностей. Выполняют сверление на различных металлорежущих станках: сверлильных, токарных, координатно-расточных, агрегатных, станках для глубокого сверления. При сверлении осуществляются два рабочих движения — вращение и осевая подача. На сверлильных, агрегатных, координатно-расточных станках вращается сверло, на токарных — заготовка. Осевая подача может осуществляться за счет перемещения сверла или заготовки.

6.1. Характеристика операции

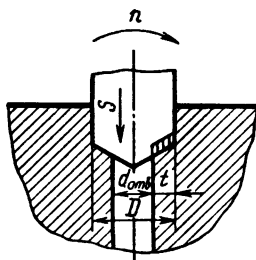


Рис. 9. Схема сверления отверстия

При сверлении глубина резания $t = 0,5D$, мм; минутная подача $S_m = S_n$, мм · мин⁻¹.

Характерные особенности операции: срезание значительного объема материала (по сравнению с размерами инструмента);

тяжелые условия работы сверла, включая неблагоприятные условия теплоотвода и часто затрудненный отвод стружки;

низкая прочность инструмента для сверления мелких отверстий;

затрудненная подача охлаждающей жидкости в зону резания.

Существенной характеристикой процесса является отношение длины L_s обработки к диаметру D сверла. При $L_s/D > 5...8$ процесс относят к глубокому сверлению. В этом случае одним из основных параметров ка-

чества является отклонение от прямолинейности оси обработанного отверстия.

Сверление обеспечивает получение отверстия с допуском на диаметр по 11-му или 12-му качеству и шероховатостью поверхности $Rz = 20...80$ мкм.

К р и т е р и и э ф ф е к т и в н о с т и. При сверлении за такой критерий принят объем металла, удаляемого в единицу времени при обеспечении требуемых параметров точности и шероховатости.

6.2. Режимы резания

Режим сверления определяется скоростью резания v и подачей S . Скорость резания, диаметр сверла и частота вращения связаны между собой известной зависимостью $v = \pi D n / 10^3$, м · мин⁻¹. Осевую подачу (мм/об) в зависимости от влияющих на нее параметров можно определить с помощью уравнения (28) [6]:

$$S = 10^{-3} C_s D^{q_s} \left(\frac{3D}{L_s} \right)^{a_s} \left(\frac{C_{HB}}{HB} \right)^{h_s} K_{s1} K_{s2}, \quad (28)$$

где C_s — постоянная, зависящая от размера отверстия; D — диаметр сверла, мм; q_s — показатель степени, характеризующий влияние диаметра сверла на подачу; L_s — длина обрабатываемого отверстия, мм; a_s — показатель степени, характеризующий влияние отношения D/L_s на подачу; C_{HB} — постоянная, характеризующая номинальную твердость обрабатываемого материала; HB — твердость материала обрабатываемой заготовки по Бринеллю, МПа; h_s — показатель степени, характеризующий влияние соотношения номинальной и фактической твердости материала обрабатываемой заготовки; K_{s1} — поправочный коэффициент, зависящий от «группы подачи»; K_{s2} — поправочный коэффициент, зависящий от материала сверла.

«Группа подачи» определяется условиями обработки и точностью обработанного отверстия. При сверлении с точностью не выше 11-го качества $K_{s1} = 1$. При сверлении чугуна сверлами из быстрорежущей стали $K_{s2} = 1$. Оба эти условия приняты для приведенных ниже заданий. Чугунные заготовки, подлежащие сверлению, имеют твердость $HB\ 225$. Применительно к сверлению чугуна значения постоянной C_s и показателей степени уравнения (28) приведены в табл. 64.

64. Значения постоянной C_s и показателей степени уравнения (28) при обработке серого чугуна

D , мм	L_3/D	C_s	q_s	a_s	h_s
>12	>3	59,7	0,63	0,25	0,75
≤ 12	≤ 3	23,8	1	0	

Преобразуем уравнение (28) применительно к отверстиям диаметром $D > 12$ мм (в дальнейшем называемым «большими отверстиями») и диаметром $D < 12$ мм (в дальнейшем называемым «мелкими отверстиями»). После преобразования уравнение для определения подачи (мм/об) при обработке больших отверстий принимает следующий вид:

$$S = 10^{-3} C_{s_1} D^{q_s} \left(\frac{3D}{L_3} \right)^{a_s}, \quad (29)$$

где C_{s_1} — постоянная для больших отверстий.

При сверлении мелких отверстий подача (мм/об) определяется с помощью уравнения

$$S = 10^{-3} C_{s_2} D, \quad (30)$$

где C_{s_2} — постоянная для мелких отверстий.

6.3. Инструмент

Термин «сверло» используется для обозначения различных по конструкции инструментов (сверла спиральные, перовые, для глубокого и кольцевого сверления и др.), общим признаком которых является способность образовывать отверстие в процессе механической обработки.

До настоящего времени основным инструментом для сверления отверстий являются спиральные сверла из быстрорежущей стали, имеющие много конструктивных модификаций и регламентированные большим количеством ГОСТов. Сверла различаются диаметром, геометрией, общей длиной и длиной режущей части (нормальной или увеличенной), формой хвостовика (цилиндрической или конической) и другими параметрами. Размеры сверл, используемых в приведенных ниже заданиях, соответствуют ГОСТ 10903—77 «Сверла спиральные с коническим хвостовиком». Для изготовления сверл используется быстрорежущая сталь Р6М5.

6.4. Задания № 86...105

Постановка задачи: определить подачу сверла из быстрорежущей стали при обработке отверстий в чугунных заготовках.

Цель задания: выявить зависимость подачи сверла от диаметра обрабатываемого отверстия.

Переменные факторы: диаметр и длина обрабатываемого отверстия.

65. Условия заданий № 86...105

№ задания	D , мм	L_3 , мм	L_3/D	a_s	q_s	C_{s1}	C_{c2}
86	5	12	3	—			23,8
87	14	45		0,25	0,67	59,7	—
88	6	14		—			23,8
89	15	65		0,25	0,67	59,7	—
90	7	18		—			23,8
91	16	53		0,25	0,67	59,7	—
92	8	21		—			23,8
93	17	52		0,25	0,67	59,7	—
94	9	25		—			23,8
95	18	100		0,25	0,67	59,7	—
96	10	27		—			23,8
97	19	70		0,25	0,67	59,7	—
98	11	30		—			23,8
99	20	76		0,25	0,67	59,7	—
100	12	34		—			23,8
101	21	80		0,25	0,67	59,7	—
102	6	16		—			23,8
103	22	85		0,25	0,67	59,7	—
104	7	20		—			23,8
105	23	90		0,25	0,67	59,7	—

Постоянные факторы: материалы обрабатываемой заготовки и инструмента, а также соответствующие коэффициенты и показатели степени уравнений (29) и (30).

В каждом задании определяют значение осевой подачи сверла при обработке отверстия заданных диаметра и длины, которые являются постоянными факторами конкретного задания, но изменяются от задания к заданию.

Условия заданий № 86...105 приведены в табл. 65, где также даны значения коэффициентов и показателей степени уравнений (29) и (30).

Образец задания

Задание № 86. Определить осевую подачу S сверла (мм/об) при обработке отверстия диаметром $D = 5$ мм и длиной $L_s = 12$ мм в чугуновой заготовке твердостью HB 225; инструмент — спиральное сверло из быстрорежущей стали Р6М5; точность обработанного отверстия — не ниже 11-го качества.

6.5. Программа для заданий № 86...105

Для определения подачи S необходимо оценить диаметр D и отнести его к большому или малому отверстию. В зависимости от результата оценки вычисление выполняется по уравнению (28) или (29). Оценка диаметра и выбор уравнения для расчета возложены на программу, которая логически делится на три части:

- оценка диаметра D и отнесение обрабатываемого отверстия к большому или малому;

- вычисление подачи S для больших отверстий;

- вычисление подачи S для малых отверстий.

Регистр памяти A выделен для записи числа 24 — адреса условного перехода.

Распределение переменных факторов заданий по регистрам памяти приведено в табл. 66.

Программу можно разделить на следующие части:

- адреса 00...33 — оценка диаметра D и определение типа отверстия (большое или малое);

- адрес 04 — выбор уравнения для вычисления подачи S ; для этого используется оператор косвенного условного перехода $Kx > 0$; в нашем случае $x = D - 12$; если условие $x > 0$ выполняется, то управление передает-

66. Распределение регистров памяти

№ задания	Регистры памяти						
	1	2	3	4	5	6	7
	Величина, записываемая в регистр						
	D	L_s	a_s	q_s	C_{s_1}	10^3	C_{s_2}
86	5	12	—			10^3	23,8
87	14	45	0,25	0,63	59,7		—
88	6	14	—				23,8
89	15	65	0,25	0,63	59,7		—
90	7	18	—				23,8
91	16	53	0,25	0,63	59,7		—
92	8	21	—				23,8
93	17	52	0,25	0,63	59,7		—
94	9	25	—				23,8
95	18	100	0,25	0,63	59,7		—
96	10	27	—				23,8
97	19	70	0,25	0,63	59,7		—
98	11	30	—				23,8
99	20	76	0,25	0,63	59,7		—
100	12	34	—				23,8
101	21	80	0,25	0,63	59,7	—	
102	6	16	—			23,8	
103	22	85	0,25	0,63	59,7	—	
104	7	20	—			23,8	
105	23	90	0,25	0,63	59,7	—	

ся следующему оператору, который имеет адрес 05; выполнение условия $D - 12 > 0$ или $D > 12$ означает, что подача S определяется по уравнению (28); если условие

$x > 0$ не выполняется, то отверстие относится к малым и подача S определяется по уравнению (29); в этом случае управление передается оператору, номер которого записан в регистре A — 24ПА;

адреса 05...23 — вычисление подачи S , т. е. решение уравнения (28); для записи промежуточной величины $(3D/L_3)^{a_s}$ использован регистр памяти 0;

адреса 24...29 — вычисление подачи S , если $D < 12$, т. е. решение уравнения (29); поскольку вычисление начинается с адреса 24, то в регистр A следует записать число 24, что обеспечит передачу управления на этот адрес оператором косвенного условного перехода (адрес 04).

Косвенный условный переход использован для расширения представления о возможностях калькулятора, хотя в данном случае можно обойтись обычным условным переходом. Программа решения заданий № 86...105 (осевая подача при сверлении) оформлена в виде табл. 67.

67. Программа расчета осевой подачи сверла

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес	Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1a	ФПРГ	—	—	22	ИП6	10^{-3}	21
1	ИП1	D	00	23	×	S_1	22
2	1	1	01	24	С/П	S_1	23
3	2	2	02	25	ИП1	D	24
4	—	$D-12$	03	26	ИП7	C_{s_2}	25
5	$Kx > 0A$	—	04	27	×	DC_{s_2}	26
6	ИП1	D	05	28	ИП6	10^{-3}	27
7	3	3	06	29	×	S_2	28
8	×	$3D$	07	30	С/П	S_2	29
9	ИП2	L_3	08	31	ФАВТ	—	—
10	÷	$3D/L_3$	09	32	24ПА	24	—
11	ИП3	a_s	10	33	ДП1	D	—
12	xy	—	11	34	$L_3/P2$	L_3	—
13	FX^y	$(3D/L_3)^{a_s}$	12	35	$a_s/P3$	a_s	—
14	ПО	$(3D/L_3)^{a_s}$	13	36	$q_s/P4$	q_s	—
15	ИП4	q_s	14	37	$C_{s_1}/P5$	C_{s_1}	—
16	ИП1	D	15	38	$10^{-3}/P6$	10^{-3}	—
17	FX^y	D^{q_s}	16	39	$C_{s_2}/P7$	C_{s_2}	—
18	ИП0	$(3D/L_3)^{a_s}$	17	40	В/0	—	—
19	×	$D^{q_s}(3D/L_3)^{a_s}$	18	41	С/П	—	—
20	ИП5	C_{s_1}	19				
21	×	$C_{s_1}D^{q_s}(3D/L_3)^{a_s}$	20				

Задания этой серии (см. табл. 65) различаются диаметром и длиной обрабатываемого отверстия.

Для выполнения каждого последующего задания данной серии программа корректируется, т. е. в регистры памяти П1...П7 записываются переменные параметры в соответствии с табл. 66.

Таким образом, записанная один раз программа позволяет решать любое из заданий № 86...105 в любой последовательности.

6.6. Выполнение заданий № 86...105

Пример выполнения задания № 86. Содержание этого задания приведено на с. 89. При решении выполняем нижеследующие действия.

Пользуясь табл. 66 (верхняя строка), записываем в регистры памяти микрокалькулятора соответствующие значения исходных данных.

Вводим программу расчета осевой подачи сверла в микрокалькулятор и, произведя вычисления, получаем осевую подачу сверла при обработке отверстия в чугунной заготовке сверлом из быстрорежущей стали: $S = 0,11$ мм/об.

Содержания заданий № 87...105 и их решения аналогичны содержанию и решению задания № 86. Ответы к заданиям № 86...105 приведены ниже.

№ задания	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
S, мм/об	0,11	0,3	0,14	0,29	0,16	0,33	0,19	0,35	0,21	0,31
№ задания	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
S, мм/об	0,23	0,36	0,26	0,37	0,28	0,38	0,14	0,39	0,16	0,4

7. ЗЕНКЕРОВАНИЕ.

ПРОГРАММА С МОДИФИКАЦИЕЙ АДРЕСОВ ПРИ КОСВЕННОЙ АДРЕСАЦИИ

Зенкерование — обработка с помощью зенкера цилиндрических или конических отверстий, предварительно просверленных, отлитых или обработанных методами пластической деформации, например прошитых. Зенкерованием получают также различные углубления: цилиндрические и конические под головки болтов или конические для центровых отверстий. Инструменты, с помощью которых выполняют эти операции, называют зен-

ковками. Для обработки небольших торцовых поверхностей, например бобышек, используют инструменты, называемые цековками.

Кинематика зенкерования аналогична кинематике сверления: при обработке осуществляются два рабочих движения — вращение и осевая подача.

7.1. Характеристика операции

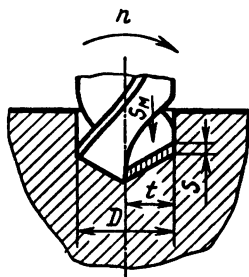


Рис. 10. Схема зенкерования отверстия

Характерные особенности операции: более благоприятные, чем при сверлении, условия резания;

сравнительно небольшая глубина резания и практически постоянная скорость резания вдоль режущих кромок зенкера;

значительное трение на цилиндрических шлифованных ленточках зенкера;

неблагоприятные условия размещения стружки в канавках зенкера, ее отвода и подачи СОЖ.

При обработке цилиндрических поверхностей зенкерование обеспечивает точность в пределах 10...12-го классов и шероховатость Ra обработанной поверхности до 2 мкм.

Критерии эффективности: достигаемые точность и шероховатость поверхности при максимальном объеме металла, удаляемого в единицу времени.

7.2. Режимы резания

К режиму резания относятся скорость резания v , подача S и глубина резания t , причем в отличие от сверления в сплошном материале при зенкерровании глубина резания $t = (D - d_{\text{отв}})/2$ (см. рис. 10).

Производительность зенкерования характеризуется срезаемым в единицу времени при заданном периоде стойкости инструмента объемом стружки, который, в свою очередь, зависит от диаметра и длины обрабатываемого отверстия, а также глубины резания. Масса стружки, срезанной при обработке нескольких отверстий, определяется уравнением

$$\sum_{i=1}^K G_i = \sum_{i=1}^K \rho V_i = \sum_{i=1}^K \rho \pi D_i L_{z_i} t_i n_i, \quad (31)$$

где i — условный номер типоразмера отверстия; G_i — масса стружки, срезанной при зенкеровании отверстий i -го типоразмера, г; ρ — плотность материала заготовки, г · см⁻³; V_i — объем стружки, срезанной при зенкеровании отверстий i -го типоразмера, см³; D_i — диаметр отверстия i -го типоразмера после зенкерования, мм; L_{z_i} — длина отверстия i -го типоразмера, мм; t_i — припуск на сторону (глубина резания) отверстия i -го типоразмера, мм; n_i — количество отверстий i -го типоразмера.

7.3. Инструмент

В настоящее время для обработки отверстий применяют зенкеры следующих типов: хвостовые — с винтовыми зубьями из быстрорежущей стали или с пластинами из твердого сплава и цилиндрическим либо коническим хвостовиком; насадные (с центральным отверстием) — цельные из быстрорежущей стали или с режущими пластинами из быстрорежущей стали либо твердого сплава, закрепляемыми в корпусе из стали 40Х.

Для обработки углублений применяют хвостовые или насадные зенковки — цельные или с режущими пластинами из быстрорежущей стали либо твердого сплава.

Геометрия режущей части: передний угол у зенкеров из быстрорежущей стали составляет 15...20° при обработке мягкой стали, 8...12° — при обработке стали средней твердости, 0...5° — при обработке твердых стали и чугуна; у зенкеров из твердого сплава передний угол составляет 6...8°, задний угол — 5...8°, угол подъема винтовых зубьев — 10...20°.

7.4. Задания № 106...113

П о с т а н о в к а з а д а ч и: определить массу стружки, срезанной при зенкеровании нескольких отверстий в заготовках из различных материалов.

Цель задания: выявить зависимость массы срезаемой стружки от размеров и количества обрабатываемых отверстий, а также от глубины резания.

Переменные факторы: длина и диаметр обрабатываемых отверстий, глубина резания, число типоразмеров обрабатываемых отверстий и количество отверстий каждого типоразмера, материал обрабатываемой заготовки.

Постоянные факторы: знаменатели арифметических прогрессий (приращения — положительные или отрицательные), в соответствии с которыми изменяются диаметр отверстий ($\Delta D = 1$ мм), их длина ($\Delta L_z = 5$ мм), глубина резания ($\Delta t = 0,15$ мм) и количество отверстий данного типоразмера ($\Delta n = 1$).

68. Условия заданий № 106...113

№ задания	i	n	D , мм	L_z , мм	t , мм	Материал заготовки	ρ , г·см ⁻³
106	1	4	16	25	0,9	Углеродистая сталь	7,7
	2	3	17	30	1,05		
	3	2	18	35	1,2		
	4	1	19	40	1,35		
107	1	3	21	20	0,65	Серый чугун	7,1
	2	2	22	25	0,8		
	3	1	23	30	0,95		
108	1	2	36	55	1,15	Дюралюминий	2,7
	2	1	37	60	1,3		
109	1	5	10	15	0,55	Магниевый сплав	1,8
	2	4	11	20	0,7		
	3	3	12	25	0,85		
	4	2	13	30	1		
	5	1	14	35	1,15		
110	1	2	25	45	1,05	Оловянистая бронза	8,8
	2	1	26	50	1,2		
111	1	3	11	17	0,5	Ковкий чугун	7,3
	2	2	12	22	0,65		
	3	1	13	27	0,8		
112	1	3	51	110	1,25	Алюминиевые литейные сплавы	2,7
	2	2	52	115	1,4		
	3	1	53	120	1,55		
113	1	2	25	50	0,95	Литая латунь	8,4
	2	1	26	55	1,1		

В каждом задании определяют суммарную массу стружки при обработке нескольких отверстий различных типоразмеров, характеризующихся определенными диаметром, длиной и глубиной резания, которые являются постоянными факторами конкретного задания, но изменяются от задания к заданию.

Условия заданий № 106...113 приведены в табл. 68, где также даны значения плотности обрабатываемых материалов.

Образец задания

Задание № 106. Определить массу стружки, срезаемой при зенкеровании 10 отверстий в заготовках из углеродистой стали плотностью $7,7 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$. Размеры отверстий, их количество и глубина резания (припуск на сторону) приведены ниже.

i	. . . . .	1	2	3	4
n	. . . . .	4	3	2	1
D , мм	. . . . .	16	17	18	19
L_z , мм	. . . . .	25	30	35	40
t , мм	. . . . .	0,9	1,05	1,2	1,35

7.5. Программа для заданий № 106...113

Для вычисления массы всей стружки, срезаемой при зенкеровании отверстий, необходимо решить уравнение (31), которое представляет собой сумму произведений четырех переменных параметров — D , L_z , t и n . Числовые значения параметров подобраны таким образом, что каждый из них изменяется по закону арифметической прогрессии: $n_{i+1} = n_i - 1$; $D_{i+1} = D_i + 1 \text{ мм}$; $L_{z,i+1} = L_{z,i} + 5 \text{ мм}$; $t_{i+1} = t_i + 0,15 \text{ мм}$. Это позволяет сократить объем программы расчета массы стружки.

Число n отверстий и диаметр D отверстия изменяются на единицу, а длина L_z отверстия и глубина резания t — на величину, которая не равна единице. Поэтому в программе заложены следующие принципы:

изменение величин n и D (на единицу) осуществляется за счет использования модификации числа при косвенной адресации;

изменение величин L_z и t осуществляется при прибавлении к ним некоторой постоянной величины (приращений) — соответственно ΔL_z и Δt .

В соответствии с переменными факторами заданий

№ 106...113 распределяем регистры памяти следующим образом: $n_0П1$; $L_3П2$; $\Delta L_3П3$; $D_0П4$; $t_0П5$; $\Delta tП6$; $\rhoП7$; $10^3П8$. Регистр памяти 0 выбран для суммирования массы стружки.

Возможна любая другая последовательность при распределении регистров памяти.

Программу можно логически разделить на следующие части:

адреса 00, 01 — обращение к регистрам памяти 1 и 4 при косвенной адресации; при косвенном обращении к любому из регистров 0, 1, 2, 3 записанное в нем число или адрес уменьшается на единицу, а при косвенном обращении к любому из регистров 4, 5, 6 — увеличивается на единицу (это использовано при составлении программы); чтобы получить значения $n_1 = 4$ и $D_1 = 16$ мм для 1-го типоразмера отверстий (задание № 106), первоначально в регистры памяти 1 (n) и 4 (D) следует записать величины $n_0 = n_1 + 1$ и $D_0 = D_1 - 1$, т. е. $n_0 = 5$ и $D_0 = 15$; после косвенного обращения к регистрам памяти 1 и 4 количество отверстий $n_1 = n_0 - 1 = 4$, а диаметр $D_1 = D_0 + 1 = 16$ мм; при повторном прохождении программы операция производится вновь, т. е. $n_2 = n_1 - 1 = 3$; а $D_2 = D_1 + 1 = 17$ и т. д.; последний, 4-й типоразмер отверстий имеет $n = 1$; следующее повторное прохождение программы дает $n_5 = n_4 - 1 = 0$ и слагаемое обратится в ноль;

адреса 02...05 — постоянное увеличение длины L_3 отверстия на величину, равную приращению ΔL_3 ; поскольку при первом прохождении программы числовое значение L_3 имеет структуру $L_{31} = L_{30} + \Delta L_3$, то $L_{30} = L_{31} - \Delta L_3$, т. е. значение длины, записываемое первоначально в регистр памяти 2, уменьшается на величину, равную ΔL_3 , в результате имеем $L_{30} = L_{31} - \Delta L_3 = 25 - 5 = 20$ мм; при прохождении программы это значение увеличивается (т. е. $L_{31} = L_3 + \Delta L_3 = 20 + 5 = 25$ мм) и вновь записывается в регистр памяти 2 (адрес 05) для последующего использования;

адреса 06...09 — выполняются аналогичные действия для глубины резания t ; из условия задания $t_1 = 0,9$ мм, а $\Delta t = t_2 - t_1 = 0,15$ мм; в этом случае $t_0 = t_1 - \Delta t = 0,75$ мм; это значение записывается в регистр памяти 5; таким образом, операторы с адресами 00...09 обеспечивают непрерывное изменение аргументов n_i , D , L_3 и t ;

адреса 10...21 — вычисление массы стружки, срезаемой при зенкерообразовании отверстий одного типоразмера;

**69. Программа расчета суммарной массы стружки, срезаемой
при зенкерowaniu отверстий**

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1a	ФПРГ	—	—
1	КИП1	$n_i - 1$	00
2	КИП4	$D_i + 1$	01
3	ИП2	L_{3i}	02
4	ИП3	ΔL_3	03
5	+	$L_{3i} + \Delta L_3$	04
6	П2	$L_{3i} + \Delta L_3$	05
7	ИП5	t_i	06
8	ИП7	Δt_i	07
9	+	$t_i + \Delta t$	08
10	П5	$t_i + \Delta t$	09
11	ИП1	$n_i - 1$	10
12	×	$(t_i + \Delta t)(n_i - 1)$	11
13	ИП2	$L_3 + \Delta L_3$	12
14	×	$(L_{3i} + \Delta L_3)(t_i + \Delta t)(n_i - 1)$	13
15	ИП4	$D_i + 1$	14
16	×	$(D_i + 1)(L_{3i} + \Delta L_3)(t_i + \Delta t)(n_i - 1)$	15
17	ИП8	10^3	16
18	÷	$(D_i + 1)(L_{3i} + \Delta L_3)(t_i + \Delta t)(n_i - 1)/10^3$	17
19	Фπ	π	18
20	×	$\pi(D_i + 1)(L_{3i} + \Delta L_3)(t_i + \Delta t)(n_i - 1)/10^3$	19
21	ИП7	ρ	20
22	×	G_i	21
23	ИП0	G_i	22
24	+	+	23
25	П0	ΣG_i	24
26	ИП1	$n_i - 1$	25
27	$F_x = 0$	$n_i = 0?$	26
28	00	—	27
29	ИП0	ΣG_i	28
30	С/П	ΣG_i	29
31	ФАВТ	—	—
32	n_0 П1	n_0	—
33	L_{30} П2	L_3	—
34	L_3 П3	ΔL_3	—
35	D_0 П4	D_0	—
36	t_0 П5	t_0	—
37	Δt П6	Δt	—
38	ρП7	ρ	—
39	10^3 П8	10^3	—
40	В/0	—	—
41	С/П	—	—

адреса 22...24 — последовательное суммирование массы стружки при обработке отверстий всех типоразмеров; для суммирования выбран регистр памяти 0, который предварительно следует очистить (записать ноль: C_x П0 или 0П0); для суммирования из регистра 0 извлекается содержимое (адрес 22) и к нему прибавляется получен-

ная величина G_i ; результат записывается обратно в регистр $П0$ (адрес 24);

адреса 25...27 — величина G_i извлекается из регистра 1 (адрес 25) и содержимое регистра проверяется на выполнение условия $Fx = 0$; если это условие не выполняется, т. е. $n \neq 0$, управление передается на оператор 00 к началу программы;

адреса 28, 29 — если $n = 0$, т. е. условие $\bar{x} = 0$ выполняется, содержимое регистра 0 ($\sum_{i=1}^{i=k} G_i$) извлекается и выводится на индикатор.

Программа решения заданий № 106...113 (суммарная масса стружки, срезаемой при зенкеровании) оформлена в виде табл. 69. Задания этой серии (см. табл. 68) различаются числом типоразмеров отверстий, количеством отверстий каждого типоразмера, а также размерами обрабатываемых отверстий.

Для выполнения каждого последующего задания данной серии программа корректируется, т. е. в регистры памяти $П1...П8$ записываются соответствующие значения переменных параметров, а регистр памяти 0 необходимо очистить ($C; П0$). Как было показано выше, использо-

70. Распределение регистров памяти

№ задания	Регистры памяти							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Величина, записываемая в регистр							
	n_0	L_{30}	ΔL_s	D_0	t_0	Δt	ρ	10^3
106	5	20	5	15	0,75	0,15	7,7	10^3
107	4	15		20	0,5		7,1	
108	3	50		35	1		2,7	
109	6	10		9	0,4		1,8	
110	3	40		24	0,9		8,8	
111	4	12		10	0,35		7,3	
112		105		50	1,1		2,7	
113	3	45		24	0,8		8,4	

вание косвенной адресации требует специфической записи исходных значений в регистры памяти *П1, П2, П4* и *П5*. Для облегчения работы и устранения возможных ошибок при распределении регистров памяти рекомендуется использовать табл. 70.

7.6. Выполнение заданий № 106...113

Пример выполнения задания № 106. Содержание этого задания приведено на с. 96. При решении выполняем нижеследующие действия.

Пользуясь табл. 70 (верхняя строка), записываем в регистры памяти микрокалькулятора соответствующие значения исходных данных.

Вводим программу расчета суммарной массы срезаемой стружки в микрокалькулятор и, произведя вычисления, получаем суммарную массу стружки при зенкеровании 10 отверстий в заготовках из конструкционной стали: $\Sigma G = 135$ г.

Содержания заданий № 107...113 и их решения аналогичны содержанию и решению задания № 106. Ответы к заданиям № 106...113 приведены ниже.

№ задания	106	107	108	109	110	111	112	113
ΣV , см ³ . .	17,5	7,3	23,3	9,8	12,3	2,8	149,6	12,4
ΣG , г . .	135	52	63	17	108	20	404	104

Примечание. ΣV — суммарный объем срезаемой стружки.

7.7. Задания № 114...120

Эти задания аналогичны заданиям № 106...113 по постановке задачи, цели задания, переменным и постоянным факторам. Отличие состоит в том, что диаметр D и длина L_z обрабатываемых отверстий, а также глубина резания t (припуск на сторону) уменьшаются при переходе от одного типоразмера отверстий к другому. Различаются также значения приращений длины (ΔL_z) и припуска (Δt).

В каждом задании определяют суммарную массу стружки при обработке нескольких отверстий различных типоразмеров, характеризующихся определенными диаметром, длиной и глубиной резания (припуск на сторону), которые являются постоянными факторами конкретного задания, но изменяются от задания к заданию.

71. Условия заданий № 114...120

№ задания	<i>i</i>	<i>n</i>	<i>D</i> , мм	<i>L</i> _з , мм	<i>t</i> , мм	Материал заготовки	ρ , г·см ⁻³
114	1	5	33	47	1,5	Углеродистая сталь	7,7
	2	4	32	44	1,4		
	3	3	31	41	1,3		
	4	2	30	38	1,2		
	5	1	29	35	1,1		
115	1	2	38	58	1,7	Серый чугун	7,1
	2	1	37	55	1,6		
116	1	6	26	36	1,6	Дюралюминий	2,7
	2	5	25	33	1,5		
	3	4	24	30	1,4		
	4	3	23	27	1,3		
	5	2	22	24	1,2		
	6	1	21	21	1,1		
117	1	3	40	77	1,1	Магниевый сплав	1,8
	2	2	39	74	1		
	3	1	38	71	0,9		
118	1	4	12	25	0,8	Оловянистая бронза	8,8
	2	3	11	22	0,7		
	3	2	10	19	0,6		
	4	1	9	16	0,5		
119	1	3	26	38	1	Ковкий чугун	7,3
	2	2	25	35	0,9		
	3	1	24	32	0,8		
120	1	4	18	33	0,9	Литая латунь	8,4
	2	3	17	30	0,8		
	3	2	16	27	0,7		
	4	1	15	24	0,6		

Условия заданий № 114...120 приведены в табл. 71, где также даны значения плотности обрабатываемых материалов.

Образец задания

Задание № 114. Определить массу стружки, срезаемой при зенкерование 15 отверстий в заготовке из углеродистой стали плотностью 7,7 г/см⁻³. Размеры отверстий, их количество и глубина резания (припуск на сторону) приведены далее.

i	1	2	3	4	5
n	5	4	3	2	1
D , мм . .	33	32	31	30	29
L_3 , мм . .	47	44	41	38	35
t , мм . .	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1

7.8. Программы для заданий 114...120

Принципы построения и логические части этой программы и программы для заданий № 106...113 аналогичны.

Диаметр и число обрабатываемых отверстий при переходе от одного типоразмера к другому уменьшаются на единицу, длина — на 3 мм, а глубина резания (припуск) — на 0,1 мм. Поскольку изменение диаметра осуществляется за счет модификации чисел при косвенной адресации, то для уменьшения диаметра можно использовать любой из регистров памяти 0...3 в отличие от заданий № 106...113, где для записи диаметра использован регистр памяти 4.

Распределение исходных данных (n_0 , D_0 , L_{30} , t_0) по регистрам памяти, которые также имеют специфическое значение, как и в программе для заданий № 106...113, осуществляется в соответствии с табл. 72.

Программа решения заданий № 114...120 (суммарная масса стружки, срезаемой при зенкеровании) оформлена

72. Распределение регистров памяти

№ задания	Регистры памяти							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Величина, записываемая в регистр							
	n_0	D_0	L_{30}	ΔL_3	t_0	Δt	ρ_s	10^3
114	6	34	50	3	1,6	0,1	7,7	10^3
115	3	39	61		1,8		7,1	
116	7	27	39		1,7		2,7	
117	4	41	80		1,2		1,8	
118	5	13	28		0,9		8,8	
119	4	27	41		1,1		7,3	
120	5	19	36		1		8,4	

73. Программа расчета суммарной массы стружки

Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес	Шаг	Оператор	Величина, над которой выполняется операция	Адрес
1a	ФПРГ	—	—	20	×	$\pi(D_i - 1) \times$	19
1	КИП1	$n_i - 1$	00			$\times (L_{3i} - \Delta L) \times$	
2	КИП2	$D_i - 1$	01			$\times (t_i - \Delta t) \times$	
3	ИПЗ	L_{3i}	02			$\times (n_i - 1) / 10^3$	
4	ИП4	ΔL	03	21	ИП7	ρ	20
5	—	$L_{3i} - \Delta L$	04	22	×	G_i	21
6	ПЗ	$L_{3i} - \Delta L$	05	23	ИП0	G_i	22
7	ИП5	t_i	06	24	+	+	23
8	ИП6	Δt	07	25	ПО	ΣG_i	24
9	—	$t_i - \Delta t$	08	26	ИП1	$n_i - 1$	25
10	П5	$t_i - \Delta t$	09	27	$x = 0$	$n = 0?$	26
11	ИП1	$n_i - 1$	10	28	00	—	27
12	×	$(t_i - \Delta t)(n_i - 1)$	11	29	ИП0	ΣG_i	28
13	ИПЗ	$L_{3i} - \Delta L$	12	30	С/П	ΣG_i	29
14	×	$(L_{3i} - \Delta L) \times$	13	31	FABT	—	—
		$\times (t_i - \Delta t)(n_i - 1)$		32	$n_0 П1$	n_0	—
15	ИП2	$D_i - 1$	14	33	$D_0 П2$	D_0	—
16	×	$(D_i - 1) \times$	15	34	$L_0 П3$	L_0	—
		$\times (L_{3i} - \Delta L) \times$		35	$\Delta L П4$	ΔL	—
		$\times (t_i - \Delta t) \times$		36	$t_0 П5$	t_0	—
		$\times (n_i - 1)$		37	$\Delta t П6$	Δt	—
17	ИП8	10^3	16	38	$\rho П7$	ρ	—
18	÷	$(D_i - 1) \times$	17	39	$10^3 П8$	10^3	—
		$\times (L_{3i} - \Delta L) \times$		40	B/0	—	—
		$\times (t_i - \Delta t) \times$		41	C/П	—	—
		$\times (n_i - 1) / 10^3$					
19	Фπ	π	18				

в виде табл. 73. Задания этой серии (см. табл. 71) различаются числом типоразмеров отверстий и количеством отверстий каждого типоразмера, а также размерами обрабатываемых отверстий.

Для выполнения каждого последующего задания данной серии программа корректируется, т. е. в регистры памяти П1...П8 записываются соответствующие значения исходных данных (см. табл. 72), а регистр памяти 0 необходимо очистить (СхП0).

7.9. Выполнение заданий № 114...120

Пример выполнения задания № 114. Содержание этого задания приведено на с. 101. При решении выполняем нижеследующие действия.

Пользуясь табл. 72 (верхняя строка), записываем в регистры памяти микрокалькулятора соответствующие значения исходных данных.

Вводим программу расчета суммарной массы срезаемой стружки в микрокалькулятор и, производя вычисления, получаем суммарную массу стружки при зенкеровании 15 отверстий в заготовках из конструкционной углеродистой стали: $\Sigma G = 685$ г.

Содержания заданий № 115...120 и их решения аналогичны содержанию и решению задания № 114. Ответы к заданиям № 114...120 приведены ниже.

№ задания	114	115	116	117	118	119	120
ΣV , см ³ . .	88,9	33,7	73,4	57,6	5,5	16,1	13,1
ΣG , г . . .	685	239	198	103	48	118	110

Примечание. ΣV — суммарный объем срезаемой стружки.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Условные обозначения параметров процесса резания

v	— скорость резания, $\text{м} \cdot \text{мин}^{-1}$
S	— подача на оборот, мм/об
$S_{\text{м}}$	— минутная подача, $\text{мм} \cdot \text{мин}^{-1}$
S_z	— подача на зуб, мм/зуб
t	— глубина резания, мм
b	— ширина резания, мм
n	— частота вращения, мин^{-1}
P_z	— окружная сила резания, Н
$P_{\text{ш}}$	— радиальная сила резания, Н
$P_{\text{т}}$	— осевая сила резания, Н
$L_{\text{в}}$	— длина врезания, мм
$L_{\text{п}}$	— длина перебега, мм
$L_{\text{вп}}$	— общая длина врезания и перебега, мм
L_{Σ}	— суммарная длина перемещения инструмента, мм
$t_{\text{обр}}$	— время обработки, мин
T	— период стойкости инструмента, мин

Условные обозначения параметров обрабатываемой заготовки

d	— диаметр обработки (заготовки), мм
$d_{\text{отв}}$	— диаметр отверстия до зенкерования, мм
L_3	— длина обработки (отверстия), мм

Условные обозначения параметров режущего инструмента

D	— диаметр инструмента, мм
B	— ширина инструмента, мм
H	— высота инструмента, мм
z	— число зубьев
$l_{\text{р}}$	— вылет резца, мм
γ	— передний угол, град
α	— задний угол, град
ϕ	— главный угол в плане, град
ϕ_1	— вспомогательный угол в плане, град
R	— радиус при вершине, мм

Условные обозначения параметров физико-механических свойств обрабатываемого материала и качества обработки

$\delta_{\text{в}}$	— временное сопротивление разрушению, МПа
$\text{HRC}_{\text{с}}$	— твердость по Роквеллу
HB	— твердость по Бринеллю
Ra	— средняя арифметическая высота микронеровностей, мкм
Rz	— средняя высота микронеровностей по 10 точкам, мкм

Условные обозначения коэффициентов и показателей степени

- C_v — коэффициент для скорости резания, зависящий от свойств обрабатываемого материала
- C_p — коэффициент для силы резания, зависящий от свойств обрабатываемого материала
- C_s — коэффициент для подачи, зависящий от свойств обрабатываемого материала
- $C_{НВ}$ — коэффициент для подачи, зависящий от твердости обрабатываемого материала
- K_v — комплексный поправочный коэффициент для скорости резания, зависящий от материала, инструмента, типа заготовки и состояния ее поверхности
- K_m — поправочный коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала
- K_p — поправочный коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки
- K_n — поправочный коэффициент, учитывающий сочетание материала инструмента и обрабатываемого материала
- K_{δ} — поправочный коэффициент для подачи, учитывающий временное сопротивление разрушению обрабатываемого материала
- $K_{v_{\varphi}}$ — поправочный коэффициент для скорости резания, учитывающий главный угол в плане инструмента
- $K_{v_{\psi}}$ — поправочный коэффициент для скорости резания, учитывающий вспомогательный угол в плане инструмента
- K_{v_R} — поправочный коэффициент для скорости резания, учитывающий радиус при вершине инструмента
- K_{s_1} — поправочный коэффициент для подачи, учитывающий «группу подачи»
- K_{s_2} — поправочный коэффициент для подачи, учитывающий материал сверла
- m — показатель степени для стойкости инструмента
- x^* — показатель степени для глубины резания
- y^* — показатель степени для подачи
- z — показатель степени для скорости резания
- q — показатель степени для диаметра инструмента
- u — показатель степени для ширины резания
- p — показатель степени для числа зубьев
- a_s — показатель степени для отношения $3D/L_3$
- h_s — показатель степени для отношения $C_{НВ}/HВ$

* Показатели степени применяются с соответствующими индексами, например x_v — в уравнении для скорости резания, x_p — в уравнении для силы резания и др.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Дьяконов В. П. Справочник по расчетам на микрокалькуляторах. М., 1985.

2. Микрокалькуляторы: технические и конструктивные характеристики/Е. Ю. Кузнецов, Б. В. Острцов, Л. К. Минкин и др. М., 1984.

3. Общемашиностроительные нормативы резания. Токарные и карусельные работы. ВНИИ информации и технико-экономических исследований по машиностроению и робототехнике. М., 1985.

4. Общемашиностроительные нормативы режимов резания, норм износа и расхода инструмента при обработке фрезами торцовыми, оснащенными вставками из сверхтвердых синтетических материалов. М., 1985.

5. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для многоцелевых станков фрезерно-сверлильно-расточной группы. М., 1986.

6. Общемашиностроительные нормативы режимов резания, износа, стойкости и расхода инструмента при обработке отверстий зенкерами и развертками. М., 1987.

7. Славин Г. В. Программирование на программируемых микрокалькуляторах типа «Электроника БЗ-34», Таллинн, 1988.

8. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 1,2/Под ред. А. Г. Касиловой. М., 1985.

9. Трохименко Я. К., Любич Ф. Д. Инженерные расчеты на микрокалькуляторах. Киев, 1985.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
1. Токарная обработка наружных поверхностей. Линейная программа	4
2. Отрезка. Линейная программа с непрерывным изменением аргументов	20
3. Растачивание. Программа «Пакет формул» и программа с условным переходом типа $x \geq 0$	37
4. Цилиндрическое фрезерование плоских поверхностей. Программа с подпрограммой	54
5. Торцовое фрезерование плоских поверхностей. Программа с условным переходом типа $x = 0$ и программа с оператором цикла	69
6. Сверление. Программа с косвенным условным переходом	85
7. Зенкерование. Программа с модификацией адресов при косвенной адресации	92
Приложение	105
Рекомендуемая литература	107

Учебное издание

**Пура Михаил Абрамович
Елисаветский Анатолий Григорьевич**

**СБОРНИК ЗАДАНИЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ
ДЛЯ НАЛАДЧИКОВ И ОПЕРАТОРОВ СТАНКОВ
С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

Научный редактор Е. Н. Савченко. Редактор Р. К. Сапожникова. Мл. редактор О. В. Каткова. Художник Н. Ю. Бабикова. Художественный редактор Л. К. Громова. Технический редактор Л. Ф. Попова. Корректор Р. К. Косинова

ИБ № 8459

Изд. № М-418. Сдано в набор 24.05.90. Подписано в печать 17.01.91. Формат 84×108¹/₃₂. Бум. кн.-журн. Гарнитура литературная. Печать высокая. Объем 5,88 усл. печ. л. 6,09 усл. кр.-отт. 5,58 уч.-изд. л. Тираж 49000 экз. Зак. № 1070. Цена 50 коп.

Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14.

Ярославский полиграфкомбинат Госкомпечати СССР. 150049 Ярославль, ул. Свободы, 97.