

А. Р. Маслов

**РЕЗАНИЕ МАТЕРИАЛОВ.
ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ
ОСНАСТКА**

Учебное пособие

**Ай Пи Ар Медиа
Москва • 2021**

УДК 621.9
ББК 34.63
М31

Автор:

Маслов А. Р. — д-р техн. наук, проф. кафедры
МТ-2 факультета МТ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Маслов, А. Р.

М31 Резание материалов. Инструментальная оснастка : учебное пособие / А. Р. Маслов. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2021. — 131 с. — Текст : электронный.

ISBN 978-5-4497-0837-3

В учебном пособии рассмотрены прогрессивные конструкции вспомогательного инструмента и специальных приспособлений для современных автоматизированных производств, обеспечивающих высокоскоростное и высокопроизводительное резание современных материалов. Приведены конструкции устройств для подвода смазывающе-охлаждающих технологических сред в зону резания.

Подготовлено с учетом требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Учебное пособие предназначено для студентов укрупненной группы специальностей и направлений подготовки 15.00.00 «Машиностроение», изучающих дисциплины «Резание материалов», «Режущий инструмент», «Современные инструментальные материалы в процессах резания», «Проектирование технологической оснастки», «Технологическая оснастка». Может быть полезно технологам машиностроительных предприятий.

Учебное электронное издание

© Маслов А. Р., 2021

© ООО Компания «Ай Пи Ар Медиа», 2021

Редактор *А.Д. Матлахова*
Технический редактор, компьютерная верстка *М.В. Половникова*
Корректор *Т.Г. Саблина*
Обложка *С.С. Сизумовой*

Подписано к использованию 23.11.2020. Объем данных 7 Мб.

Издание представлено в электронно-библиотечных системах
IPR BOOKS (www.iprbookshop.ru),
Библиокомплектатор (www.bibliocomplectator.ru)

Бесплатный звонок по России: 8-800-555-22-35

Тел.: 8 (8452) 24-77-97, 8 (8452) 24-77-96

Отдел продаж и внедрения ЭБС:

доб. 206, 213, 144, 145

E-mail: sales@iprmedia.ru

Отдел комплектования ЭБС:

доб. 224, 227, 208

E-mail: mail@iprbookshop.ru

По вопросам приобретения издания обращаться:

доб. 208, 201, 222, 224

E-mail: izdat@iprmedia.ru, author@iprmedia.ru

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. ОСНАСТКА ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО РЕЗАНИЯ.....	6
1.1. Крепление вращающегося инструмента	6
1.2. Типовые конструкции зажимных патронов.....	27
1.3. Балансировка инструмента	44
ГЛАВА 2. ОСНАСТКА ДЛЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО РЕЗАНИЯ.....	55
2.1. Требования к оснастке	55
2.2. Оснастка для осевого режущего инструмента.....	60
2.3. Оснастка многооперационных токарных станков.....	76
2.4. Специальные конструкции оснастки.....	92
ГЛАВА 3. ОСНАСТКА ДЛЯ ПОДАЧИ СОТС В ЗОНУ РЕЗАНИЯ.....	101
3.1. Устройства для открытой подачи СОТС.....	102
3.2. Оснастка для подвода СОТС по внутренним каналам инструмента	110
3.3. Оснастка для резания с ограниченной подачей СОТС	117
3.4. Устройства для применения нежидких СОТС.....	124
ЛИТЕРАТУРА	131

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности обработки материалов резанием может осуществляться как за счет существенного увеличения скорости резания (высокоскоростное резание), так и за счет увеличения объема срезаемой стружки в единицу времени (высокопроизводительное резание).

При повышении в 5–10 раз скоростей резания вращающимся инструментом центробежные силы, возникающие из-за дисбаланса его конструкции, становятся более значимыми для оценки прочности и надежности системы станок — инструмент, чем силы резания.

При наращивании объемов срезаемой стружки независимо от выбранной геометрии режущих кромок и инструментального материала значительно увеличиваются силы резания, а также возрастает склонность к вибрациям системы станок — инструмент.

Применение смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС) при высокоскоростном резании по различным соображениям остается актуальным, но все больше ограничивается вплоть до объемов 5–50 см³ смазочного вещества в час.

Перечисленные эффекты свидетельствуют о необходимости создания специальной инструментальной оснастки для рассматриваемых условий обработки.

Учебное пособие предназначено для студентов укрупненной группы специальностей и направлений подготовки 15.00.00 «Машиностроение», изучающих дисциплины «Резание материалов», «Режущий инструмент», «Современные инструментальные материалы в процессах резания», «Проектирование технологической оснастки», «Технологическая оснастка».

Освоение материалов данного пособия направлено на овладение обучающимися *следующей профессиональной компетенцией*: способность принимать участие в разработке инструментальной оснастки машиностроительных производств, проводить анализ потребления инструмента на производственном участке или в цехе машиностроительного предприятия и выбирать средства технологического оснащения для реализации производственных и технологических процессов.

ГЛАВА 1. ОСНАСТКА ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО РЕЗАНИЯ

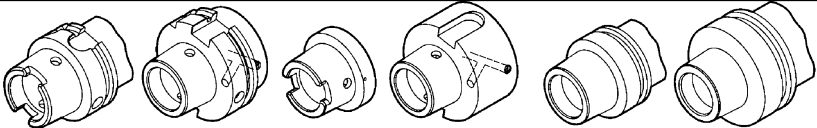
При скорости резания порядка $20\ 000\ \text{мин}^{-1}$ из-за действия центробежных сил в 80 % случаев происходит раскрепление стандартных соединений типа конусов Морзе и конусностью 7:24, предварительно затянутых в статике с обычными усилиями. Поэтому применяют оптимизированные конструкции инструментальной оснастки, рассчитанные непосредственно для высокоскоростной обработки (ВСО).

1.1. Крепление вращающегося инструмента

Для крепления инструмента в шпинделях высокоскоростных станков разработана серия стандартов DIN 69893 на хвостовики с обозначением HSK, что является аббревиатурой немецкого названия Hohlschäfte Kegel (полый конический хвостовик). Стандарты DIN 69893 включают в себя 6 типов хвостовиков 35 типоразмеров (табл. 1). В России хвостовики по DIN 69893-1 внедрены в виде ГОСТ Р ИСО 12164-1-2013 (рис. 1 и табл. 2).

Таблица 1

**Типы хвостовиков HSK, их типоразмеры
и номера стандартов**

										
HSK-A	HSK-B	HSK-C	HSK-D	HSK-E	HSK-F					
Обозначение типа хвостовика HSK	Обозначение типоразмера									Номер стандарта DIN
	25	32	40	50	63	80	100	125	160	
A	-	+	+	+	+	+	+	+	+	69893-1
B	-	-	+	+	+	+	+	+	+	69893-2
C	-	+	+	+	+	+	+	-	-	69893-1
D	-	-	+	+	+	+	+	+	-	69893-2
E	+	+	+	+	+	-	-	-	-	69893-5
F	-	-	-	+	+	+	-	-	-	69893-6

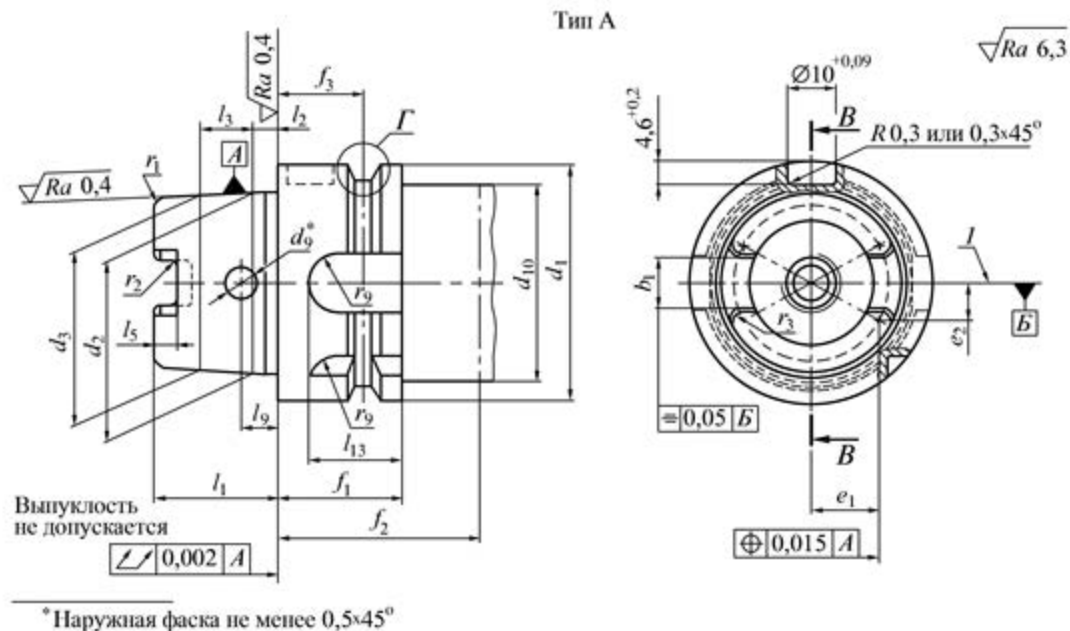


Рис. 1. Хвостовики инструментов полые конические HSK (начало):

- 1 — плоскость расположения режущей кромки инструмента,
- 2 — допуск на смещение отверстий для подвода СОЖ $\pm 1^\circ$

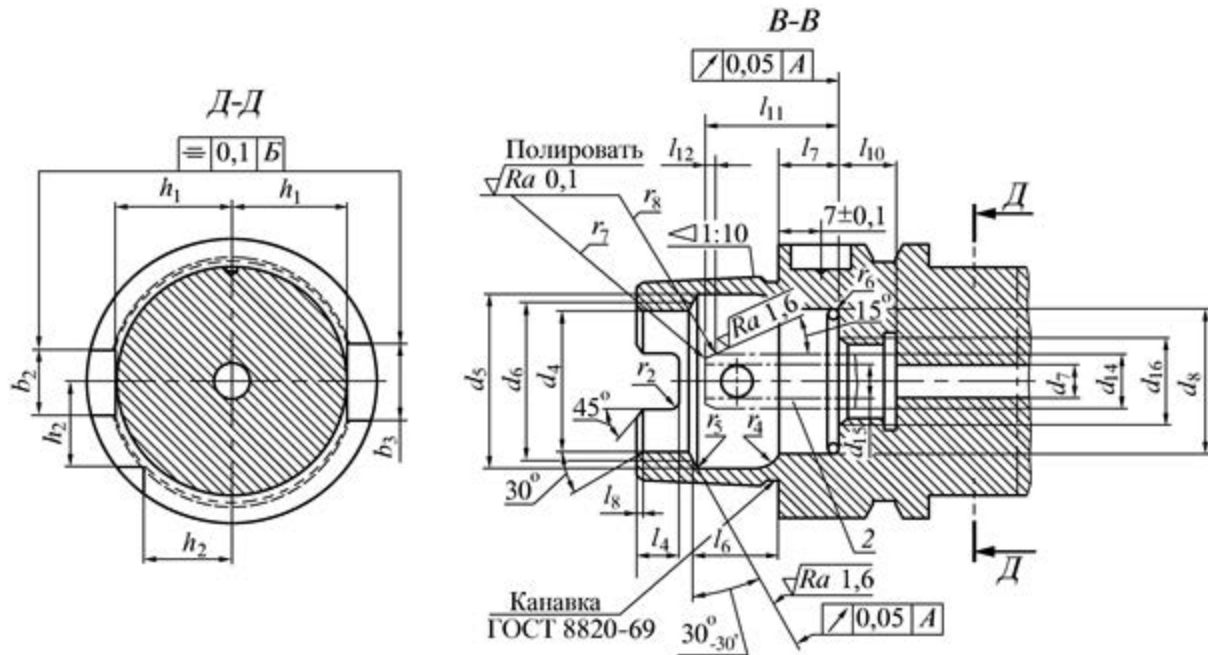


Рис. 1 (продолжение)

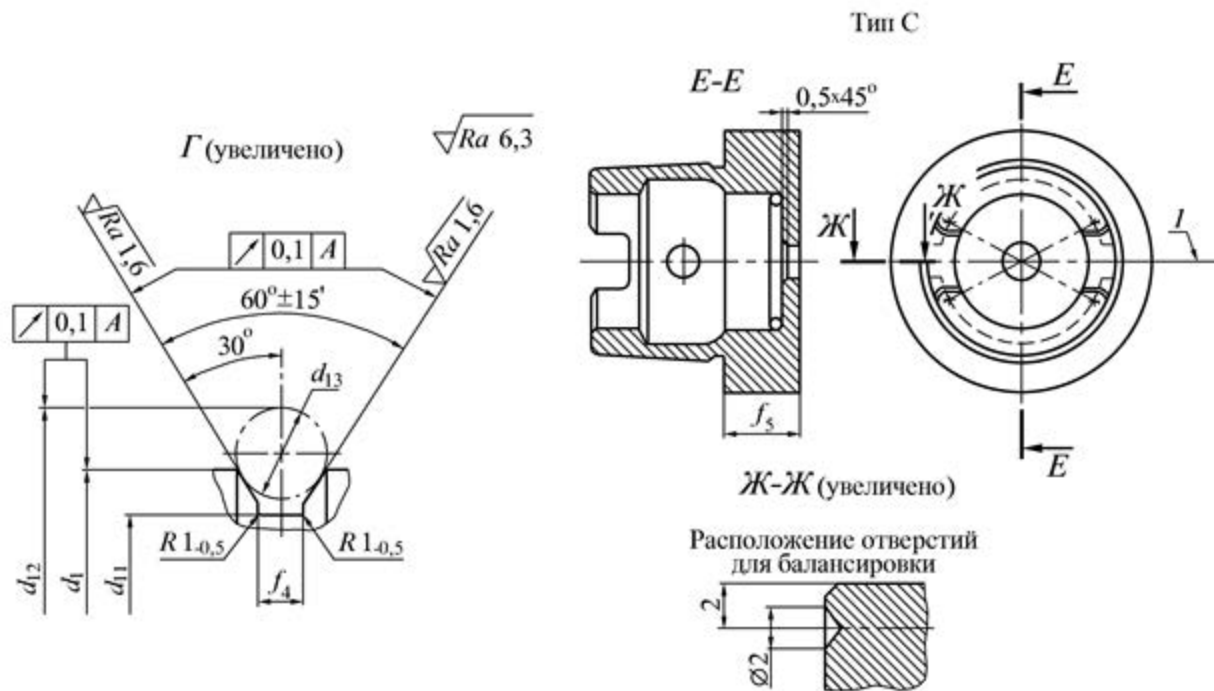


Рис. 1 (окончание)

Таблица 2

**Хвостовики инструмента полые конические типа HSK.
ГОСТ Р ИСО 12164-1-2013 (см. рис. 1)**

Размеры, мм

Основные размеры	$b_1 \pm 0,04$	b_2 , Н10	b_3 , Н10	d_1 , h10	d_2		d_3	
					номин.	пред. откл.	номин.	пред. откл.
32	7,05	7	9	32	24	+0,007	23,27	+0,005
						+0,005		+0,003
40	8,05	9	11	40	30	+0,007	29,05	+0,005
						+0,005		+0,003
50	10,54	12	14	50	38	+0,009	36,90	+0,006
						+0,006		+0,003
63	12,54	16	18	63	48	+0,011	46,53	+0,007
						+0,007		+0,003
80	16,04	18	20	80	60	+0,013	58,10	+0,008
						+0,008		+0,003
100	20,02	20	22	100	75	+0,015	72,60	+0,009
						+0,009		+0,003
125	25,02	25	28	125	95	+0,018	91,95	+0,011
						+0,011		+0,004
160	30,02	32	36	160	120	+0,018	116,00	+0,011
						+0,011		+0,004

Продолжение табл. 2

Основные размеры	$d_4, H10$	$d_5, H11$	d_6	d_7 , не более	$d_8 \begin{pmatrix} 0 \\ -0,1 \end{pmatrix}$	d_9	d_{10} , не более	$d_{11} \begin{pmatrix} 0 \\ -0,1 \end{pmatrix}$				
32	17	21,0	19	4,2	17,4	4,0	26	26,5				
40	21	25,5	23	5,0	21,8	4,6	34	34,8				
50	26	32,0	29	6,8	26,6	6,0	42	43,0				
63	34	40,0	37	8,4	34,5	7,5	53	55,0				
80	42	50,0	46	10,2	42,5	8,5	67	70,0				
100	53	63,0	58	12,0	53,8	12,0	85	92,0				
125	67	80,0	73	14,0	-	-	105	117,0				
160	85	100,0	92	16,0			130	152,0				
Основные размеры	$d_{12} \begin{pmatrix} 0 \\ -0,1 \end{pmatrix}$	d_{13}	$d_{14}, f8$	d_{15}	d_{16}	e_1^{*1}	e_2^{*1}	$f_1 \begin{pmatrix} 0 \\ -0,1 \end{pmatrix}$	f_2 , не менее	$f_3 \pm 0,1$	$f_4 \begin{pmatrix} +0,15 \\ 0 \end{pmatrix}$	f_5
32	37,00	4	6	3,5	M10×1	8,905	4,903	20	35	16	2,00	10,0
40	45,00		8	5,0	M12×1	11,081	5,903					
50	59,30	7	10	6,4	M16×1	13,997	7,648	26	42	18	3,75	12,5
63	72,30		12	8,0	M18×1	18,110	9,150					
80	88,80		14	10,0	M20×1, 5	22,073	11,898					
100	109,75		16	12,0	M24×1, 5	27,561	14,888	29	45	20	-	
125	134,75		18	14,0	M30×1, 5	35,580	18,388					
160	169,75	20	16,0	M35×1, 5	44,538	22,888	31	47	22	-		

Окончание табл. 2

Основ- ные раз- меры	$h_1 \begin{pmatrix} 0 \\ -0,2 \end{pmatrix}$	$h_2 \begin{pmatrix} 0 \\ -0,3 \end{pmatrix}$	$h_1 \begin{pmatrix} 0 \\ -0,2 \end{pmatrix}$	l_2	l_3	$l_4 \begin{pmatrix} +0,2 \\ 0 \end{pmatrix}$	$l_5 \begin{pmatrix} +0,2 \\ 0 \end{pmatrix}$	$l_6, \text{ js10}$	$l_7 \begin{pmatrix} 0 \\ -0,1 \end{pmatrix}$	$l_8 \begin{pmatrix} +0,3 \\ 0 \end{pmatrix}$	$l_9 \pm 0,1$	$l_{10} \begin{pmatrix} 0 \\ -0,3 \end{pmatrix}$	l_{11}	l_{12}
	32	13,0	9,5	16	3,2	7,3	5,0	3,0	8,92	8,0	0,8	5,0	6	20,0
40	17,0	12,0	20	4,0	9,5	6,0	3,5	11,42	6,0			8	21,5	
50	21,0	15,5	25	5,0	11,0	7,5	4,5	14,13	10,0	1,0	7,5	10	23,0	3,0
63	26,5	20,0	32	6,3	14,7	10,0	6,0	18,13			9,0	12	24,5	
80	34,0	25,0	40	8,0	19,0	12,0	8,0	22,85	12,5	1,5	12,0	14	26,0	
100	44,0	31,5	50	10,0	24,0	15,0	10,0	28,56			15,0	16	28,0	
125	55,5	39,5	63	12,5	30,5	19,0	12,0	36,27	16,0	2,0	-	18	30,0	3,5
160	72,0	50,0	80	16,0	40,0	23,0	16,0	45,98				20	32,0	
Основ- ные раз- меры	l_{13}	r_1	$r_2 \begin{pmatrix} 0 \\ -0,2 \end{pmatrix}$	$r_{3 \pm 0,02}$	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	r_9	Уплотнительное кольцо *2			
	32	12	0,6	1,0	1,38	4	0,4	0,5	1,0	2	3,5	16 × 1		
40	0,8		1,88		5	1,0		4,5			18,77 × 1,78			
50	19	1,0	1,5	2,88	6	0,5	1,5	1,5	3	3	6,0	21,89 × 2,62		
63	21	1,2			8	0,6					8,0	29,82 × 2,2		
80	22	1,6	2,0	3,88	10	0,8	2,5				9,0	36,09 × 3,53		
100	24	2,0		4,88	12	1,0	10,0				47,6 × 3,53			
125		2,5	5,88	16	1,2	-	5,0	-						
160		3,2	7,88	20	1,6									

*¹ Расчетные значения координат для размеров r_3 и b_1 .

*² Количество колец зависит от используемых систем и в комплект поставки не входит.

Пример условного обозначения конического полого хвостовика типа А с номинальным размером 50:

Хвостовик HSK — А50 ГОСТ Р ИСО 12164-1-2013.

То же, типа С с номинальным размером 50: *Хвостовик HSK — С50 ГОСТ Р ИСО 12164-1-2013.*

Примечания

1. Допускается изготовление хвостовиков типа HSK без отверстия для подвода СОЖ.
2. Допускается изготовление хвостовиков формы С без отверстий для балансировки.
3. Неуказанные радиусы закруглений 0,2 мм.

Для хвостовиков HSK-A установлены следующие предельные значения частот вращения, мин⁻¹:

HSK-A32 — до 50 000; HSK-A63 — до 25 000;

HSK-A40 — до 42 000; HSK-A80 — до 20 000;

HSK-A50 — до 30 000; HSK-A100 — до 16 000.

В настоящее время стандартизованы хвостовики HSK типов А и С (табл. 3) и В, D (табл. 4). Стандарты для Е и F (табл. 5) приняты предварительно, хотя именно они являются наиболее подходящими для ВСО.

Сопоставление размеров хвостовиков HSK и с конусом 7:24 по DIN 69871 приведено в табл. 6.

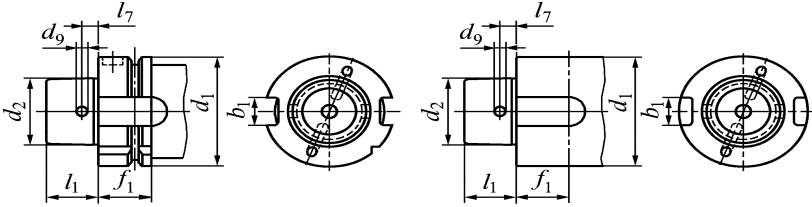
Таблица 3

Размеры, хвостовиков HSK типов А и С, мм

d_1	32	40	50	63	80	100	125	160
d_2	24	30	38	48	60	75	95	120
l_1	16	20	25	32	40	50	63	80
b_1	7,05	8,05	10,54	12,54	16,04	20,02	25,02	30,02
d_9	4,0	4,6	6,0	7,5	8,5	12,0	—	—
l_9	5,0	6,0	7,5	9,0	12,0	15,0	—	—
f_1	20	20	26	26	26	29	29	31
f_5 , не менее	10	10	12,5	12,5	16	16	—	—

Таблица 4

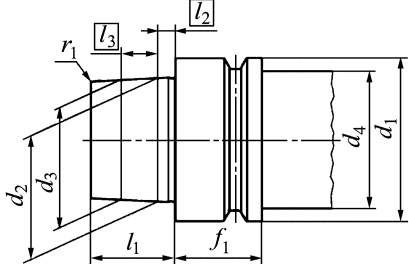
Размеры, хвостовиков HSK типов В и D, мм



	HSK-B				HSK-D		
d_1	40	50	63	80	100	125	160
d_2	24	30	38	48	60	75	95
l_1	16	20	25	32	40	50	63
b_1	10	12	16	18	20	25	32
d_9	4,0	4,6	6,0	7,5	8,5	—	—
l_7	5,0	6,0	7,5	9,0	12,0	—	—
f_1	20	25	26	26	29	29	31

Таблица 5

Размеры, хвостовиков HSK типов E и F, мм



Обозначение хвостовика	d_1	d_2	d_3	d_4	f_1	l_1	l_2	l_3
HSK-E25	25	19	18,5	20	10	13	2,5	8,5
HSK-E32	32	24	23,27	26	20	16	3,2	7,3
HSK-E40	40	30	29,05	34	20	20	4,0	9,5
HSK-E50	50	38	36,90	42	26	25	5,0	11,0
HSK-F50	50	30	29,05	42	26	20	4,0	9,5
HSK-E63	63	48	46,53	53	26	32	6,3	14,7
HSK-F63	63	38	36,90	53	26	25	5,0	11,0
HSK-F80	80	48	46,53	67	26	32	6,3	14,7

Сопоставление размеров хвостовиков

Хвостовик по DIN 69871	HSK-A/C по DIN 69893/1	HSK-B/D по DIN 69893/2
–	HSK 40	HSK 50
SK 30	HSK 50	HSK 63
SK 40	HSK 63	HSK 80
SK 45	HSK 80	HSK 100
SK 50	HSK 100	HSK 125

В большинстве перечисленных операций необходим большой вылет режущей части инструмента относительно торца шпинделя. Так как центробежные силы возрастают с ростом частоты вращения, то на большом вылете при смещении центра масс относительно оси вращения эти силы способны деформировать инструмент и исказить траекторию его движения.

Инструмент с большой массой может вызвать появление осевой составляющей центробежной силы, сопоставимой с силой закрепления инструмента в шпинделе. Может произойти раскрепление инструмента, нарушение его базирования, потеря жесткости и даже разрушение.

Основные элементы хвостовика HSK (рис. 2):

- кольцевая канавка под автооператор — 1;
- индексирующая канавка для ориентации инструмента в автооператоре — 2;
- шпоночные канавки для шпонок инструментального магазина — 3;
- место для расположения кодового элемента — 4;
- резьба под втулку для СОЖ — 5;
- шпоночные канавки для шпонок внутри шпинделя — 6;
- радиальное отверстие для зажимных устройств ручного закрепления — 7;
- кольцевая коническая расточка для кулачков зажимного устройства — 8.

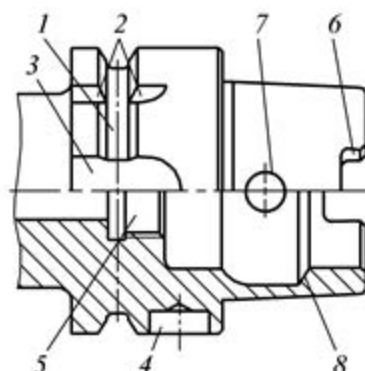


Рис. 2. Основные элементы хвостовика HSK

Принцип закрепления таких хвостовиков в автоматическом режиме представлен на рис. 3. Инструмент 1 с хвостовиком HSK закрепляется кулачками 3 в шпинделе 2 с помощью тяги 5 и подвижной нажимной втулки 7. Возврат кулачков 3 в положение разжима осуществляется пакетом пружин 4. Крутящий момент передается через торец хвостовика шпонками 6. При большой частоте вращения центробежные силы, действующие на кулачки 3, усиливают эффект закрепления.

Для ручного закрепления инструмента с хвостовиком HSK, например, в переходном патроне (рис. 4), используют специальные муфты, кулачки 1 которых раздвигаются винтом 2 и стягивают инструмент 3 и переходной патрон 4. При этом осевая сила F_a и радиальная сила F_r образуют суммарную зажимную силу F_z , создающую необходимый натяг в соединении инструмента 3 с переходным патроном 4. Силовое замыкание по конической и торцевой поверхностям достигается за счет точного изготовления номинального диаметра конуса.

Использование соединения на базе хвостовиков HSK позволяет исключить фреттинг-износ конусов шпинделей и уменьшить вибрации режущей части, что приводит к существенному повышению режимов резания.

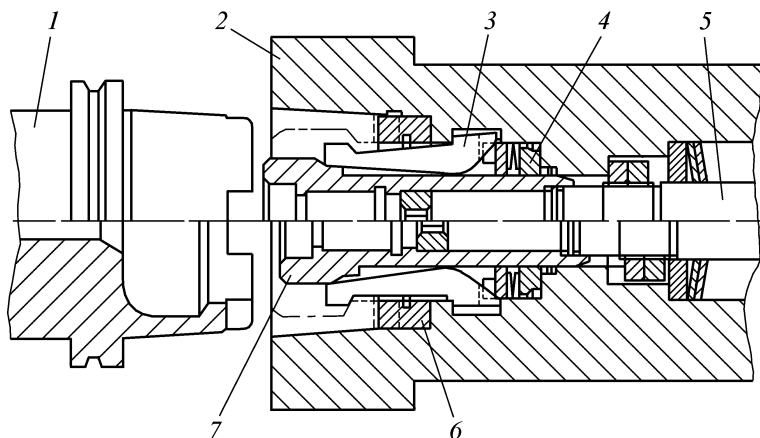


Рис. 3. Автоматическое закрепление хвостовика HSK

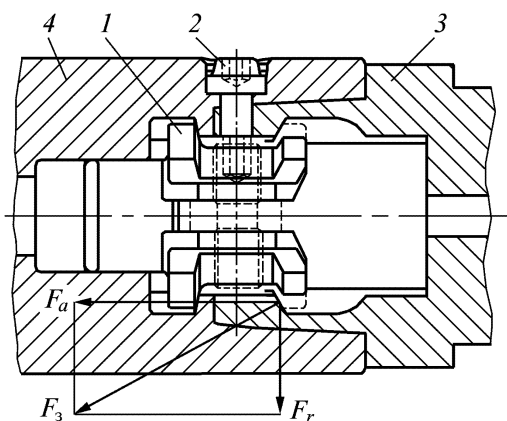


Рис. 4. Ручное закрепление хвостовика HSK

При растачивании стали резцами, оснащенными керметом, замена закрепления расточной оправки с конусом 7:24 на закрепление с конусом HSK (рис. 5) приводит к возможности повышения скорости резания в 4 раза.

При фрезеровании стали (рис. 6) твердосплавной концевой четырехзубой фрезой диаметром 16 мм, закрепленной во втулке с хвостовиком с конусом 7:24, обработка может про-

изводиться на скорости резания $v = 60$ м/мин ($n = 1\,200$ мин⁻¹) и при подаче $S_M = 500$ мм/мин. Эта же фреза, закрепленная с помощью хвостовика HSK, может работать на скорости $v = 200$ м/мин и $S_M = 2\,000$ мм/мин, имея преимущество в стойкости в 2–3 раза (рис. 7).

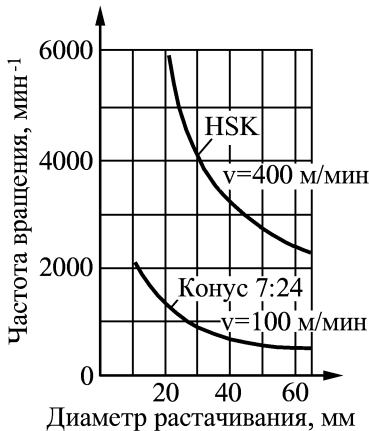


Рис. 5. Допускаемые частоты вращения при растачивании стали резцами, оснащенными керметом

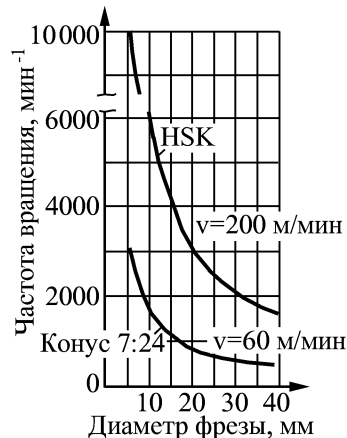


Рис. 6. Допускаемые частоты вращения при фрезеровании стали твердосплавными фрезами

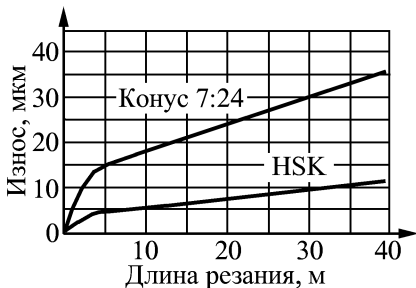


Рис. 7. Износ концевых твердосплавных фрез диаметром 16 мм

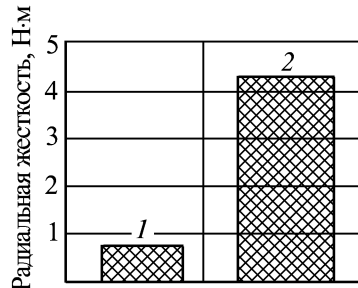


Рис. 8. Сравнение радиальной жесткости хвостовиков: 1 — конус 7:24; 2 — HSK

Высокие частоты вращения и небольшие крутящие моменты шпинделей высокоскоростных станков предопределяют использование инструментов диаметром 2–10 мм с цилиндрическим хвостовиком. Требуемая точность установки таких инструментов обычно лежит в пределах 1–3 мкм на вылетах 50–150 мм.

Радиальная и осевая жесткости являются наиболее важными техническими характеристиками хвостовика инструмента, так как они определяют предел безвибрационной работы. Исследования, выполненные в Аахенском техническом университете (Германия), по сравнению конусов 7:24 и HSK показали, что радиальная жесткость соединения HSK в 5 раз выше, чем у инструмента с хвостовиком с конусом 7:24 при сопоставимых размерах (рис. 8).

Повышенная жесткость означает, что система станок — инструмент характеризуется более высокой собственной частотой, а это позволяет повысить дорезонансные частоты вращения шпинделя. Также более высокая жесткость позволяет повысить точность обработки и улучшить качество обрабатываемой поверхности.

Поскольку осевой контакт между фланцем хвостовика HSK и торцом шпинделя является неопределенным, то обеспечивается очень большой запас величины осевой жесткости. Это гарантирует фиксирование положения инструмента во время выполнения операций растачивания, что важно во время сверления, когда осевые силы особенно велики. Жесткость хвостовика HSK в направлении «из шпинделя» также выше, чем у хвостовиков с конусом 7:24, поскольку осевая сила закрепления у хвостовиков HSK в 2 раза больше для соизмеримых размеров, а также из-за более высокого трения в конусе 1:10 с эффектом самоторможения. Таким образом, сопротивление вытягиванию из шпинделя в случае HSK более высокое, чем для конуса конусностью 7:24.

Крутильная жесткость хвостовика HSK сопоставима с такой же жесткостью конуса 7:24. Это достигается благодаря шпонкам в комбинации с двумя поверхностями трения или

только двух поверхностей трения. Первая поверхность образуется при контакте конусов шпинделя и хвостовика; вторая — при контакте торца шпинделя с торцом фланца хвостовика HSK.

Пользователь может выбирать один из трех вариантов закрепления для обеспечения крутильной жесткости:

- хвостовики HSK типа А и С — средние крутящие моменты, средние и высокие частоты вращения,
- хвостовики HSK типа В и D — высокие крутящие моменты, средние и высокие частоты вращения,
- хвостовики HSK типа Е и F — низкие крутящие моменты, сверхвысокие частоты вращения.

Результаты испытаний передаваемого крутящего момента представлены на рис. 9.

Фреттинг-износ инструмента и повторяемость базирования при использовании хвостовиков HSK определяется одновременностью контакта между хвостовиком и приемником шпинделя вдоль конуса и по упорам. Эластичная деформация конусной стенки хвостовика делает такой контакт возможным. Как показано на рис. 10, точность базирования в радиальном и осевом направлениях находится в пределах 0,002 мм.

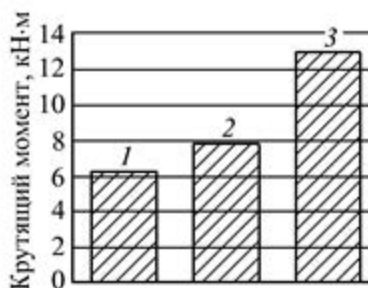


Рис. 9. Предельный передаваемый крутящий момент соединениями с хвостовиками:
1 — конус 7:24; 2 — HSK-A100;
3 — HSK-B12

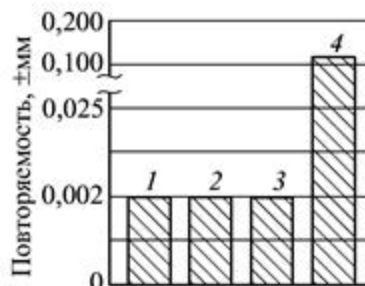


Рис. 10. Повторяемость позиционирования инструмента:
в радиальном направлении с хвостовиками:
1 — HSK; 2 — конус 7:24; в осевом направлении с хвостовиками:
3 — HSK; 4 — конус 7:24

Хвостовики с конусом 7:24 дают сравнимую точность в радиальном направлении. В осевом направлении точность установки колеблется от 0 до 0,10 мм. Осевая режущая сила также влияет на повторяемость в осевом направлении при использовании конусов 7:24, что приводит к уменьшению точности торцового фрезерования.

С точки зрения срока службы важно, что хвостовик с конусом 7:24 при ВСО приводит к износу передней части шпинделя в виде раструба. Если проводится обработка при частоте вращения шпинделя свыше $8\,000\text{ мин}^{-1}$, то стенки шпинделя деформируются больше, чем хвостовик с конусом 7:24. В результате хвостовик перемещается в осевом направлении в шпиндель. Это перемещение изменяет положение кромки инструмента в направлении оси Z, что впоследствии ухудшает условия автоматической смены инструмента.

Такого рода проблемы не возникают с хвостовиками HSK. Двойной контакт на конусе и торце определяет устойчивое положение кромки инструмента независимо от скорости вращения шпинделя. Хвостовик HSK расширяется в радиальном направлении быстрее, чем стенки шпинделя. Эта особенность конструкции гарантирует постоянный контакт между стенками шпинделя и державки инструмента на малых и больших скоростях обработки.

Ход инструмента и время его смены связаны друг с другом. Малые масса и момент инерции хвостовика HSK и короткая длина его конуса способствуют уменьшению времени смены инструмента. Сравнение по этому показателю показано на рис. 11. Для сравниваемых хвостовиков с конусом 7:24 и HSK расчетный диаметр последнего составляет около половины по отношению к конусу 7:24. Кроме того, HSK не требует зажимного грибка, что еще более уменьшает ход инструмента с хвостовиком HSK при его замене.

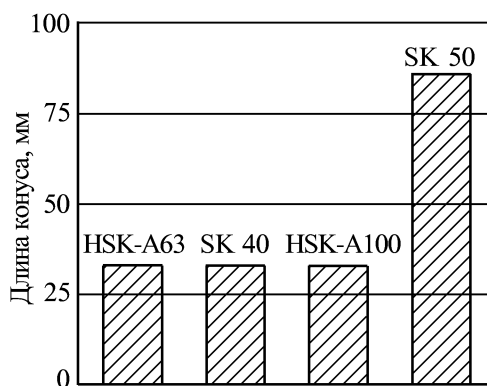


Рис. 11. Сравнение длин хвостовиков HSK и конусов 7:24

Шесть различных типов хвостовиков HSK и внутренних конусов шпинделя могут обеспечить широкий диапазон производственных режимов. Типы А и С используются для стандартных вариантов обработки (А — при автоматической и С — при ручной смене инструмента). Типы В и D предназначены для больших передаваемых моментов и для неподвижных соединений (например, на токарных станках). Тип В предназначен для автоматической смены инструмента (АСИ), D — для ручной смены. Типы Е и F рекомендуются для низкомоментных, сверхвысокооборотных режимов с АСИ, так как являются полностью симметричными и представляют собой сбалансированные инструменты.

Масса инструментов с хвостовиками HSK меньше, чем сравнимых с ними инструментов с конусом 7:24, поскольку хвостовик HSK является пустотелым и имеет конус короче по длине. В случаях, когда передняя часть инструментального блока тяжелее хвостовика HSK, центр масс располагается ближе к передней части инструмента, что создает большой опрокидывающий момент $M_{\text{опр}}$ при АСИ.

Сравнивая хвостовики HSK с конусом 7:24, необходимо учитывать, что меньший вес хвостовика HSK не является преимуществом при балансировке, особенно для несимметричных типов А и С.

Внутренний подвод охлаждающей жидкости может быть обеспечен в обоих случаях как в хвостовике HSK, так и в хвостовике с конусом 7:24. В последнем варианте используют «зажимной грибок» с отверстием для жидкости. В хвостовиках HSK типа А и С используют подачу охлаждающей жидкости через сопло. В хвостовиках типа В и D выполняют каналы для подвода жидкости с обходом зажимного механизма. Хвостовик HSK-F не дает возможности подвести охлаждение. Однако этот хвостовик рекомендуется использовать главным образом для деревообработки, где не возникает необходимость в охлаждении.

На частотах вращения, превышающих $20\,000\text{ мин}^{-1}$ из-за асимметрии каналов подвода охлаждающей жидкости и из-за наличия жидкости во внутренних каналах, может нарушиться балансировка сборки шпиндель–державка. В таких условиях рекомендуется переходить на внешний подвод охлаждающей жидкости.

Стоимость инструментов с хвостовиками HSK выше, чем инструментов с конусом 7:24, поскольку первые изготавливаются с более жесткими допусками. Измерительные средства, применяемые при изготовлении хвостовиков HSK, как правило, стоят на порядок дороже, чем средства для контроля конусов 7:24.

Имеется ряд недостатков хвостовиков HSK по сравнению с хвостовиками с конусом 7:24. Хвостовики HSK требуют значительно более внимательного отношения к чистоте поверхностей хвостовика. Для установки хвостовика в шпиндель необходимо убедиться в отсутствии стружки или других частиц на

стыкуемых поверхностях. Загрязнения могут ухудшить как жесткость, так и точность закрепления. Необходимость очистки является прямым следствием перехода к более высоким технологиям обработки.

Слишком высокие изгибающие нагрузки, которые при большом вылете могут быть обусловлены даже относительно малыми усилиями, ведут к появлению на хвостовике HSK-A трещин в зоне радиуса перехода к зажимной фаске с радиусом перехода r_3 (рис. 12) или в сквозном отверстии под ключ. Геометрия конусного хвостовика в этих местах ослаблена, что обусловлено конструкцией. Скручивающие перегрузки являются причинами трещин на радиусе поводкового паза r_2 или около него.

После закрепления инструмента в соединении конуса HSK-A и шпинделя возникают контактные напряжения. Из-за различной высоты поводковых выступов и соответствующей различной глубины поводковых пазов получаются две встречные кривые, характеризующие изменение величины контактных напряжений на всей поверхности (рис. 13).

Хвостовик HSK-A как бы «шатается» в шпинделе из-за этого расширения. В результате возникает зазор между фланцем хвостовика и шпинделем, а это может привести к потере радиальной ориентации и, следовательно, к неточностям при изготовлении и возможному повреждению из-за несбалансированности инструмента.

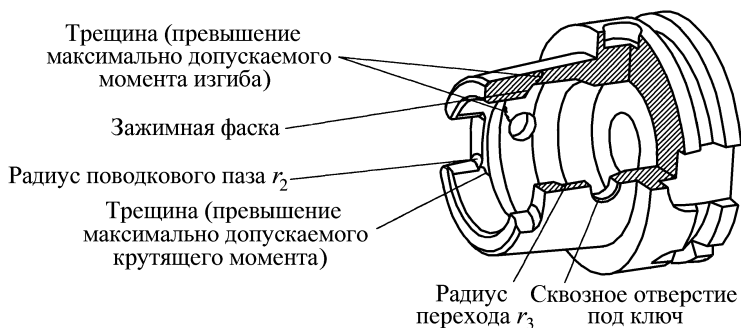


Рис. 12. Места потенциальных поломок на хвостовике HSK-A

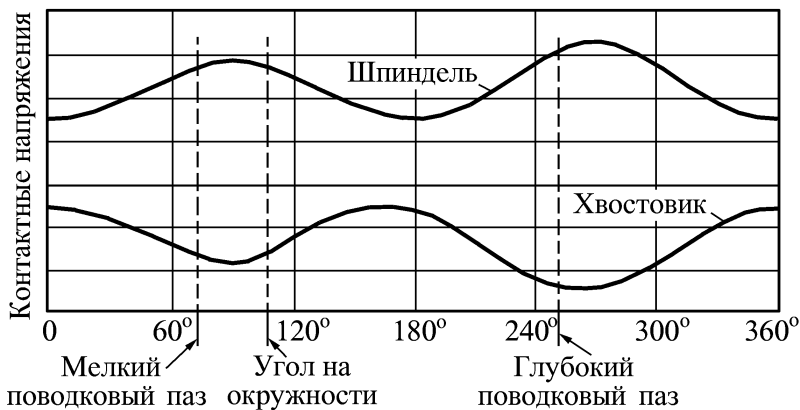


Рис. 13. Изменение контактных напряжений в соединении хвостовика HSK-A и шпинделя при частоте вращения $7\,500\text{ мин}^{-1}$ на расстоянии 2 мм от торца

По причине более жестких технических условий, предъявляемых к хвостовикам HSK, их износ влияет на рабочие характеристики хвостовика и шпинделя в значительно большей степени, чем на соединениях с конусами 7:24. Многим потребителям требуется приобретать измерительные системы для периодического контроля состояния станков и инструмента. Рабочий персонал также должен быть обучен работе с инструментом, имеющим хвостовики HSK.

Высокие точность и жесткость, широкий диапазон размеров хвостовиков HSK дают возможность конструировать модульные (агрегатированные) системы инструмента, которые обеспечивают результирующую жесткость, близкую к жесткости цельного инструмента. Соединения модулей осуществляют с помощью кулачков (см. рис. 4) либо с помощью резьбовых устройств (рис. 14). Силовое замыкание и эффективность зажимного механизма обеспечивают устойчивые, свободные от вибрации рабочие характеристики модульного инструмента.

Большинство фирм-производителей предлагают инструмент с хвостовиком HSK в модульном исполнении, включаю-

щем в себя узлы, которые позволяют использовать обычный режущий инструмент. По мере стандартизации инструментов с хвостовиками HSK будет сокращаться применение обычного инструмента.

В целях стандартизации режущего инструмента разработан стандарт DIN 6594, который охватывает геометрические параметры сверл с хвостовиками HSK типов А и С и внутренним подводом охлаждающей жидкости; другой стандарт DIN 6597 устанавливает геометрические параметры токарных и расточных державок с хвостовиками HSK типов А, В, С и D и внутренним подводом охлаждающей жидкости; стандарт DIN 6598 определяет обозначения патронов в зависимости от их размеров и условий резания.

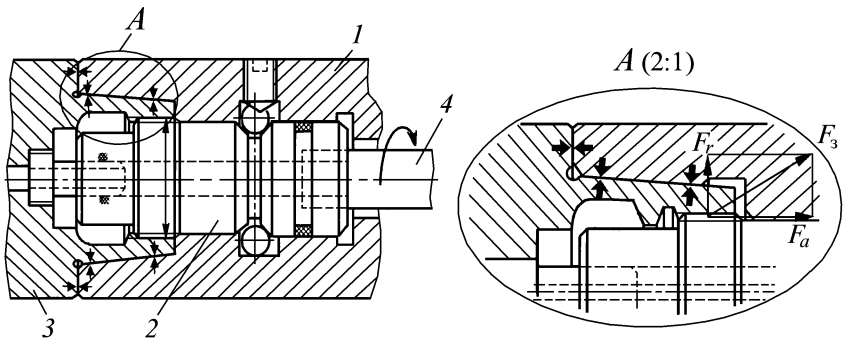


Рис. 14. Соединение модулей с хвостовиками HSK с помощью резьбы:

1 — патрон; 2 — винт с цилиндрической резьбой;
3 — хвостовик HSK; 4 — ключ

1.2. Типовые конструкции зажимных патронов

Для высокоскоростного фрезерования применяют несколько типовых конструкций (рис. 15).

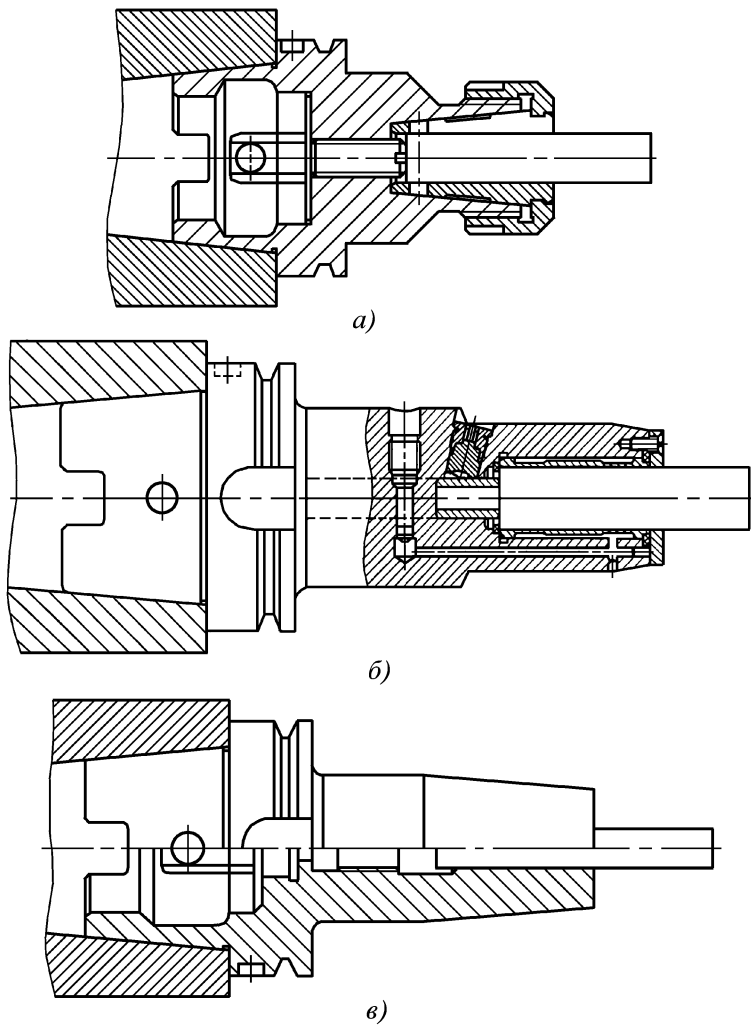


Рис. 15. Типовые конструкции зажимных патронов:
a — цанговый патрон; *б* — гидравлический патрон;
в — патрон с «термозажимом»

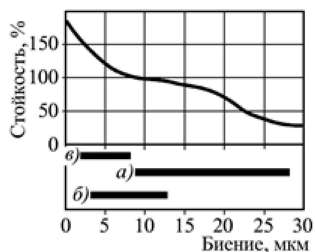


Рис. 16. Зависимость стойкости инструмента от его биения:

а-в — см. рис. 15

Цанговые патроны давно применяют для крепления фрез с цилиндрическим хвостовиком. Их конструкции хорошо известны [1]. Для высокоскоростной обработки детали цангового патрона изготавливают с особо высокой точностью с тем, чтобы максимальное биение контрольной оправки по результатам 20 измерений на вылете 50 мм не превышало 0,03 мм (рис. 16).

Гидравлические патроны. В корпусе 1 патрона (рис. 17) выполнены полости 6 и каналы 4, которые заполнены специальной гидравлической жидкостью. Плунжер 2, управляемый винтом 8, создает гидравлическое давление, которое деформирует мембрану 5, в результате чего происходит закрепление цилиндрического хвостовика инструмента, положение которого предварительно регулируется регулировочным винтом 3, перемещаемым от поворота винта 7.

Передаваемый гидравлическим патроном крутящий момент $M_{кр}$ сопоставим по величине с этим параметром цангового патрона (рис. 18).

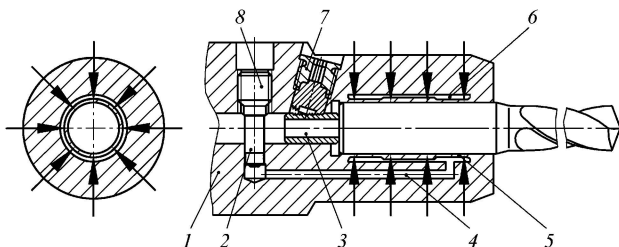


Рис. 17. Схема гидравлического патрона

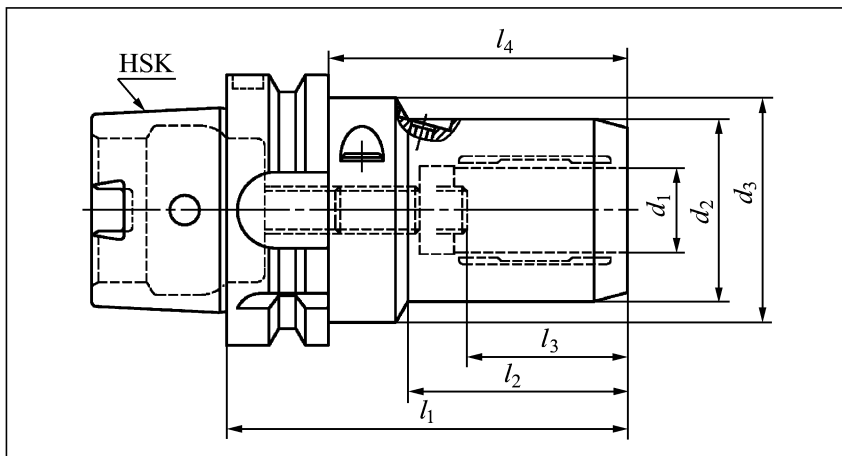


Рис. 18. Зависимости крутящего момента $M_{кр}$:
 1 — от диаметра закрепляемого хвостовика;
 2 — справочно — момент сил резания при фрезеровании

Основные размеры гидравлических патронов приведены в табл. 7.

Таблица 7

Основные размеры, гидравлических патронов, мм



Окончание табл. 7

HSK	d_1	d_2	d_3	l_1	l_2	l_3	l_4	$M_{зат},$ $H \times M$	Диапазон зажима, мкм
50A	6	25,7	40	80	35	27	54	12	25
	8	27,7			36			30	31
	10	29,7		85	41	31	58	40	36
	12	31,6		90	47	36	64	70	39
63A	6	25,7	50	80	33,0	27	54	12	25
	8	27,7			33,5			30	31
	10	29,7		85	39,0	31	59	40	36
	12	31,6		90	44,5	36	64	70	39
	14	33,6			46,0			100	46
	16	37,6		95	51,5	39	69	135	52
	18	39,6			52,0			180	59
	20	41,6		100	58,0	41	74	220	62
	25	49,6		120	51,0	46	94	500	82
	32	59,6		125	59,0	50	99	700	105

Патроны с «термозажимом» применяются для соединения по «горячей» посадке, хорошо известной как посадка с натягом типа H7/p6, H7/n6, образуемой при соединении нагретых деталей, например, бандажей колесных пар.

Действие патронов с термозажимом основано на том, что при нагревании посадочное отверстие увеличивается в диаметре.

Одним из практических вариантов использования «горячих» посадок является нагрев патронов токами высокой частоты (ТВЧ).

В специальных устройствах (рис. 19) производится нагрев патрона с помощью индукционной катушки. Одна и та же индукционная катушка используется для инструмента с хвостовиком диаметром от 3 до 32 мм. Время разогрева 3–5 с, охлаждение — 30 с, если применяется специальное охлаждение.

Устройства могут быть оборудованы для групповой подготовки инструмента.

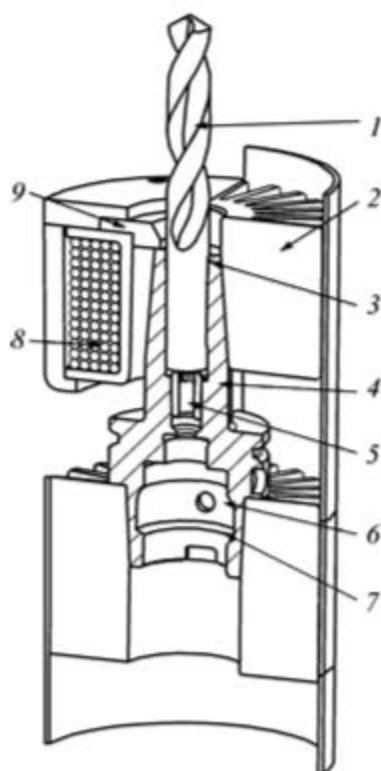


Рис. 19. Схема устройства для «термозажима»:

- 1 — зажимаемый инструмент; 2 — радиатор воздушного охлаждения;
- 3 — расточка для снятия «краевого» эффекта; 4 — патрон;
- 5 — регулировочный винт; 6 — хвостовик патрона типа HSK;
- 7 — заплечики для АСИ на станке;
- 8 — индукционная катушка; 9 — специальный отражатель

Концентрированное магнитное поле, изменяющееся с высокой частотой, создает вихревые токи в материале патрона, что обеспечивает короткое время нагрева узкой зоны зажима. Из-за высокой скорости нагрева передача тепла в хвостовик

инструмента очень незначительна. Это дает возможность извлекать твердосплавный инструмент из патрона так же хорошо, как и инструмент из стали с коэффициентом теплового расширения, одинаковым с материалом патрона.

Хвостовик закрепляемого инструмента вставляется в расширенное отверстие патрона (рис. 20, *а*). При охлаждении до комнатной температуры диаметр отверстия патрона возвращается к нормальному размеру, при этом возникают очень большие зажимные усилия (рис. 20, *б*). Если закрепление осуществляется в диапазоне упругих деформаций материала патрона, то оно может быть повторено многократно (до 5 000 раз).

При раскреплении инструмента в зоне, ограниченной участком сопряжения патрона и хвостовика закрепляемого инструмента, нагревание до температуры 300–350 °С возможно менее чем за 10 с (рис. 21).

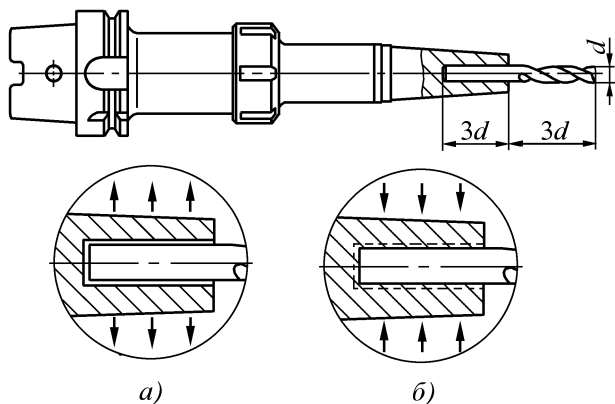


Рис. 20. Закрепление инструмента в патроне с «термозажимом»: *а* — нагрев; *б* — охлаждение

После извлечения режущего инструмента патрон охлаждается достаточно быстро, чему способствует относительно большая масса патрона. Инструмент при этом практически не нагревается.

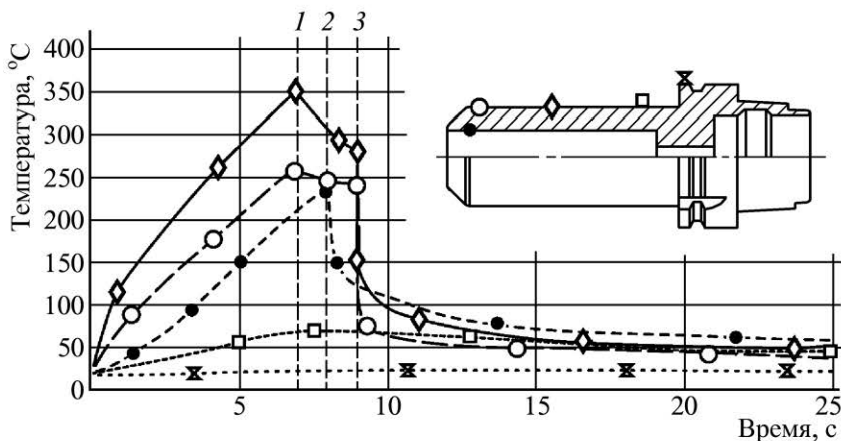


Рис. 21. Изменение температуры патрона за цикл «термозажима»: 1 — начало нагрева; 2 — закрепление инструмента; 3 — начало охлаждения

Удерживающие силы, возникающие в результате охлаждения патрона с термозажимом, значительно больше, чем в других известных системах закрепления, поэтому по уровню вибраций образующаяся система закрепления равноценна цельному инструменту той же конфигурации. Точность установки по параметру концентричности при таком методе почти аналогична цельному инструменту. Перемещение закрепленного инструмента вдоль оси вращения при фрезеровании, которое является серьезным недостатком цанговых патронов, практически исключается при закреплении по «горячей» насадке.

В случае сборки с нагревом патрон (охватывающая деталь) должен быть нагрет до температуры t_{d_2} , °C:

$$t_{d_2} = \frac{N_{\max} + S_{сб}}{\alpha d_2} + t_{сб}, \quad (1)$$

где $S_{сб}$ — минимально необходимый зазор для сборки, м; N_{\max} — максимально допускаемый натяг, м; $t_{сб}$ — температура

помещения сборки, °С; α — коэффициент линейного расширения материала патрона при нагреве, 1/°С; d_2 — наружный диаметр патрона, м.

Экономически целесообразно подвергать патроны многократному монтажу-демонтажу, поэтому возникающие деформации должны быть упругими и не должны переходить в область упругопластических.

С другой стороны, посадка должна иметь такой натяг, чтобы обеспечить надежность закрепления, т.е. отсутствие перемещения режущего инструмента под действием внешних нагрузок.

Исходя из первого условия, необходимо ограничить натяг величиной N_{\max} , при которой еще отсутствуют пластические деформации. Исходя из второго условия, создают натяг N_{\min} , требуемый для передачи внешних нагрузок.

Для определения размеров патрона с «термозажимом» (рис. 22) по заданному значению внешних нагрузок $M_{кр} \leq 0,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$ и $P_0 \leq 2 \text{ кН}$ и номинальному размеру соединения $d_{н.с}$ определяют требуемое удельное контактное давление p , Н/м²:

$$[p] = \frac{2M_{кр}}{\pi d_{н.с}^2 f_{тр}}, \quad (2)$$

где $M_{кр}$ — крутящий момент, стремящийся повернуть инструмент относительно втулки, Н×м; l — длина контакта сопрягаемых поверхностей, м; $f_{тр}$ — коэффициент трения при установленном процессе распрессовки; $d_{н.с}$ — номинальный диаметр сопряжения, м.

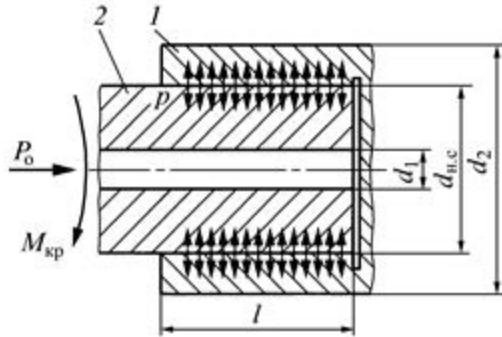


Рис. 22. Схема соединения патрона 1 и инструмента 2

По значениям p определяется величина минимального требуемого натяга N_{\min} , м, при условии, что $d_1 = 0$:

$$[N_{\min}] = [p]d_{\text{н.с.}} \left(\frac{C_2}{E_2} \right) + \gamma_{\text{ш}} + \gamma_t + \gamma_{\text{ц}}, \quad (3)$$

где $C_2 = 1 + \left(\frac{d_{\text{н.с.}}}{d_2} \right)^2 / \left(1 - \left(\frac{d_{\text{н.с.}}}{d_2} \right)^2 \right)$; $\gamma_{\text{ш}}$ — поправка, учитывающая смятие шероховатостей контактных поверхностей при первичном закреплении:

$$\gamma_{\text{ш}} = 1,2(Rz_1 + Rz_2), \quad (4)$$

Rz_1 — высота микронеровностей на поверхности охватываемой детали, Rz_2 — высота микронеровностей на поверхности охватывающей детали, γ_t — поправка, учитывающая различие рабочей температуры инструмента $\Delta t_{d_{\text{ин}}}$ и температуры патрона Δt_{d_2} :

$$\gamma_t = d_{\text{н.с.}} (\alpha_1 \Delta t_{d_{\text{ин}}} - \alpha_2 \Delta t_{d_2}), \quad (5)$$

α_1, α_2 — коэффициенты линейного расширения материалов инструмента; $\gamma_{ц}$ — поправка, учитывающая ослабление натяга под действием центробежных сил при вращении инструмента:

$$\gamma_{ц} = \frac{v^2 d_{н.с} \rho}{64} \left(\frac{3 + \mu}{E_2} \right), \quad (6)$$

где v — окружная скорость на наружной поверхности патрона, м/с; ρ — плотность материала, кг/м³; E_2 — модуль упругости охватываемой детали, ГПа; μ — коэффициент Пуассона (0,25–0,3).

Далее определяется максимально допускаемое удельное контактное давление $[p_{\max}]$, при котором еще отсутствует пластическая деформация, Н/м²:

$$[p_{\max}] = 0,58 \sigma_{т2} \left[1 - \left(\frac{d_{н.с}}{d_2} \right)^2 \right], \quad (7)$$

где $\sigma_{т2}$ — предел текучести материала втулки, Н/м².

После этого находят величину наибольшего расчетного натяга N'_{\max} , м, и величину максимально допускаемого натяга $[N_{\max}]$ с учетом поправок к величине N'_{\max} :

$$N'_{\max} = [p_{\max}] d_{н.с} \left(\frac{C_2}{E_2} \right); \quad (8)$$

$$[N_{\max}] = N'_{\max} (\gamma_{у.д} + \gamma_{ш} + \gamma_t), \quad (9)$$

где $\gamma_{у.д}$ — коэффициент, учитывающий рост давления у торца патрона.

На основе рассчитанных величин минимально требуемого и максимально допускаемого натягов могут быть выбраны соответствующее поле допуска и посадка с соблюдением условий $N_{\max} \leq [N_{\max}]$, $N_{\min} > [N_{\min}]$.

Далее можно определить необходимую температуру нагрева t_{d_2} патрона по формуле (2).

Так как стандартные фрезы имеют цилиндрические хвостовики с диаметром $d_{н.с}$ по нормальному ряду размеров и с размером $d_1 = 0$, то наружный диаметр d_2 может быть оптимизирован исходя из соотношения d_2 и $d_{н.с}$, удовлетворяющего нижеприведенным условиям.

При «термозажиме» расширение патрона и инструмента происходит не свободно, поэтому возникают тепловые напряжения, которые зависят от наружных и внутренних размеров системы по соотношениям:

$$\sigma_r = \frac{kA}{2} \left(\ln \frac{b}{r} - \frac{a^2}{r^2} \frac{b^2 - r^2}{b^2 - a^2} \ln \frac{b}{a} \right) - \frac{k}{2r^3} \frac{(b^2 - r^2)(r^2 - a^2)}{a^2 + b^2} (C_1 \cos\theta + D_1 \sin\theta); \quad (10)$$

$$\tau_r = -\frac{k}{2r^3} \frac{(b^2 - r^2)(r^2 - a^2)}{a^2 + b^2} (C_3 \sin\theta + D_1 \cos\theta); \quad (11)$$

$$\sigma_\theta = \frac{kA}{2} \left(\ln \frac{b}{r} - \frac{a^2}{r^2} \frac{b^2 + r^2}{(b^2 - a^2)} \ln \frac{b}{a} \right) - \frac{k}{2r^3} \frac{4a^2 r^2 - (3r^2 - b^2)(r^2 + a^2)}{a^2 + b^2} (C_3 \cos\theta + D_1 \sin\theta), \quad (12)$$

где $k = \frac{E_2}{(1-\mu)}$, ГПа; $b = d_2/2$ — наружный радиус, м; $a = d_{н.с}/2$ — внутренний радиус, м; r — текущий радиус, мм; A — длина окружности радиуса a , м; C_3 и D_1 — константы интегрирования; θ — угол поворота текущего радиуса r .

Положительные тепловые напряжения на внутренней поверхности патрона соответствуют условию зажима хвостовика инструмента.

Для определения знака тепловых напряжений на внутренней поверхности патрона в выражениях (10), (11) и (12) вместо текущего радиуса r принимают радиус внутренней поверхности цилиндра a , тогда

$$\sigma_{\theta=360^\circ}^{r=a} = \pi k a \left[\ln \frac{b}{a} \left(1 + \frac{b^2 + a^2}{b^2 - a^2} \right) + 1 \right] - \frac{k}{a} \frac{b^2 - a^2}{b^2 + a^2}. \quad (13)$$

Расчет тепловых напряжений σ_θ на внутренней поверхности патрона от величин внутреннего диаметра $d_{н.с}$ и наружного диаметра d_2 показывает, что тепловые напряжения в такой системе не имеют отрицательных значений. Более того, имеется максимум тепловых напряжений и соответствующих сил, определяемый соотношением $d_2/d_{н.с} = 3,0-3,8$.

При заданной величине контактного давления p_{\max} толщина стенки патрона u определяется по формуле

$$u = \frac{\alpha_2 E_2 t d_2}{p_{\max}}, \quad (14)$$

тогда $d_2 = d_{н.с} + 2u$.

На основании этих расчетов предложены размеры переходной втулки, приведенные и в табл. 8.

**Рекомендуемые размеры, патронов
для «термозажима», мм**

$d_{н.с}$ (P6)	d_2	d_3	L_1	L для хвостовиков			
				HSK 32	HSK 40	HSK 50	HSK 63
6	27	20	36	70	80	80	80
8						85	85
10	34	24	42	-	90	90	90
12						95	95
14	48	27	47	-	-	95	95
16						100	100
18	68	33	50	-	-	115	115
20						120	120
25	85	44	58	-	-	115	115
32						120	120

Примечание

Размеры d_2 и d_3 сгруппированы для унификации.

Основные параметры нагрева патрона токами ТВЧ:

1. Толщина нагреваемого слоя l_1 .
2. Время нагрева t .
3. Удельная мощность нагрева (не более 500 Вт/см²), необходимая для нагрева патрона на заданную глубину за время 5–10 с.
4. Частота тока.

5. Температура нагрева t_{d_2} (до 300–350 °С).

Соотношения между основными параметрами нагрева представлены на рис. 23.

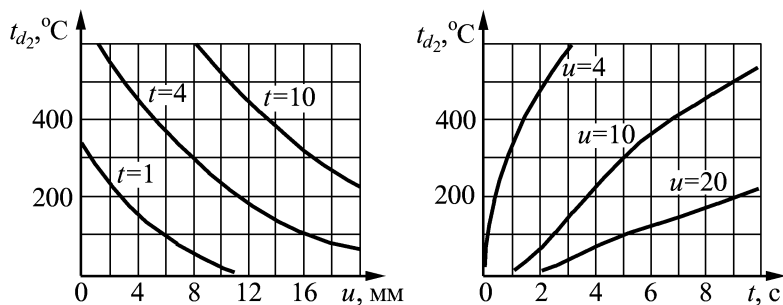


Рис. 23. Соотношения между основными параметрами нагрева

При заданной толщине стенок u оптимальная с точки зрения КПД установки ТВЧ частота тока F , с^{-1} , определяется по формуле

$$F = \frac{P_{\max}}{ud_2} 8,6 \cdot 10^5. \quad (15)$$

Конфигурацию нагретого слоя определяют по геометрическим размерам индуктора и по соотношению между удельной мощностью и длительностью нагрева. В одном и том же индукторе и при одной и той же частоте тока можно получить совершенно различные очертания нагретого слоя, варьируя длительность нагрева.

На рис. 24 показана форма нагретого слоя боковой поверхности патрона 1 с вставленным хвостовиком 2 при высоте индуктора $h_i = l - 2S_{\text{сб}}$. При этом нагретый слой имеет толщину l_1 на длине соединения h_i .

Чтобы получить большое значение отношения длины активной части проводника индуктора к его ширине и тем самым обеспечить высокий КПД нагрева системы, необходимо использовать многovitковые конструкции (рис. 25).

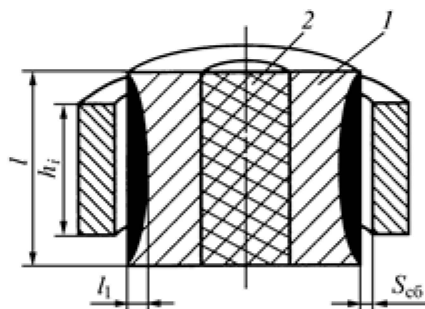


Рис. 24. Форма нагретого слоя в зависимости от соотношения размеров индуктора и нагреваемой сборки патрон — инструмент

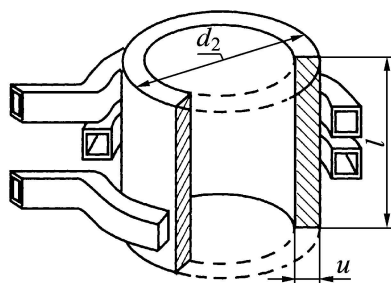


Рис. 25. Нагрев патрона многовитковым индуктором

Крутящий момент $M_{кр}$, передаваемый патроном с «термо-зажимом», зависит от величины натяга в соединении патрон — инструмент и от длины соединения (рис. 26).

Очень важной характеристикой патронов в современных условиях обработки на станках с ЧПУ являются их габариты. Это связано с тем, что высокоскоростная обработка в основном ведется твердосплавными концевыми фрезами и сверлами диаметром 8–16 мм, собственный вылет которых составляет 32–150 мм. В то же время комплексная обработка требует жесткого закрепления инструмента в труднодоступных местах (рис. 27).

Система сменных наладок, закрепляемых с помощью «термозажима» (табл. 9), позволяет удлинять инструмент практически до любой необходимой длины с высокой жесткостью.

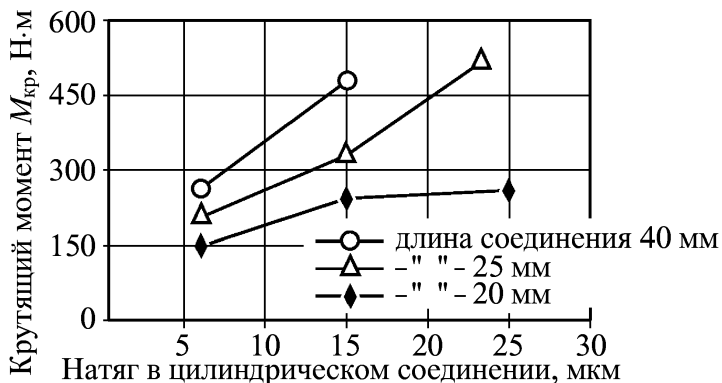


Рис. 26. Зависимость передаваемого крутящего момента от величины натяга в соединении патрон — инструмент диаметром 25 мм

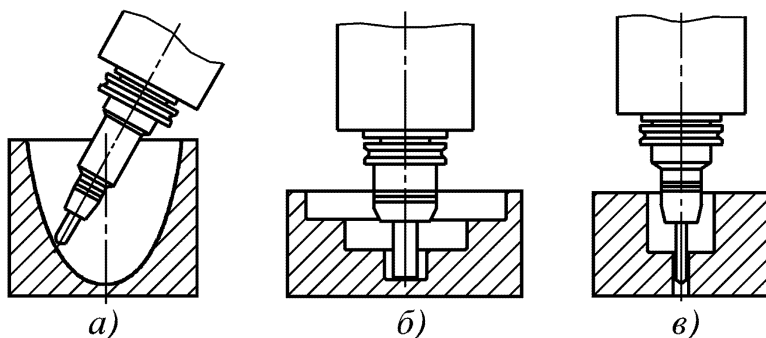
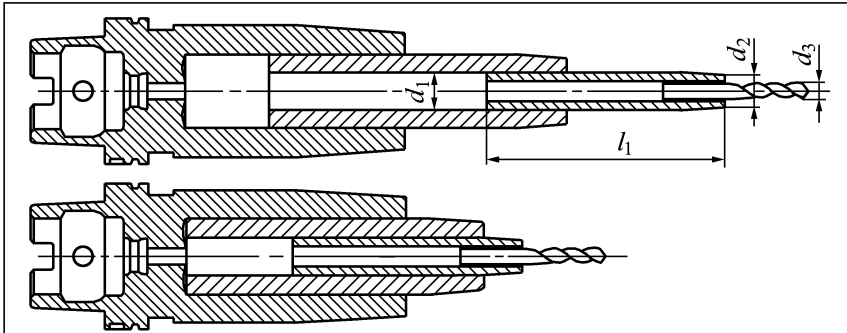


Рис. 27. Обработка в труднодоступных местах:
а и б — концевыми фрезами; в — сверлами

**Основные размеры сменных наладок для патрона
с «термозажимом», мм**



d_1	d_2	d_3	l_1	d_1	d_2	d_3	l_1
12	8	3; 4	160	25	19	8	160
16	10	3; 4; 5; 6			20	10; 12; 14	
					22	16	
20	14	5; 6; 8	32	27	10; 12; 14; 16; 20		

1.3. Балансировка инструмента

Балансировка инструмента в сборе приобретает особое значение при рабочих частотах вращения шпинделя более $4\,000\text{ мин}^{-1}$. Например, производители мотор-шпинделей указывают нормы динамической балансировки инструмента, при несоблюдении которых они снимают с себя гарантийные обязательства.

Дисбаланс инструмента снижает работоспособность станка из-за того, что вызывает:

- а) повышенную нагрузку на подшипники шпинделя;
- б) повышенный износ подшипников;
- в) шумовые помехи;
- г) нежелательные вибрации для соседних узлов станков;
- д) снижение срока службы шпиндельного узла и станка

в целом.

Процесс балансировки улучшает распределение массы в инструментальной наладке, что позволяет ей вращаться с минимальной суммой несбалансированных центробежных сил. Впрочем, сбалансировать инструментальную наладку до такой степени, когда вся ее несбалансированная масса уравновешена, невозможно.

Международная организация по стандартизации разработала стандарт ISO 1940/1, а Американский национальный институт стандартов — стандарт S2.19–1989, которые являются документами, определяющими степень балансировки. В обоих стандартах используется «G-система» точности балансировки и даются рекомендации о достижимых пределах и практическом использовании. Например, класс точности балансировки G2,5 означает, что скорость вибрации не должна превышать 2,5 мм/с.

По определению ISO, процесс балансировки состоит из двух операций, а именно, из определения (измерения) дисбаланса и его коррекции при необходимости.

Дисбаланс вызывает появление центробежной силы, которая влияет на плавность вращения шпинделя. Для компенсации действия центробежной силы симметрично дисбалансу располагают уравновешивающую массу с тем, чтобы сумма всех действующих центробежных сил стремилась к нулю.

Дисбаланс системы шпиндель – инструмент смещает центр ее тяжести на определенное расстояние от оси вращения. Это смещение называют остаточным эксцентриситетом или эксцентриситетом центра масс (рис. 28). Чем больше масса системы, тем бóльшим может быть остаточный дисбаланс.

Следует находить компромисс между технической необходимостью и экономической целесообразностью балансировки. Например, бесполезно проводить балансировку инструментальной наладки для высокоскоростной обработки, если она устанавливается в шпинделе с большим отклонением от соосности.

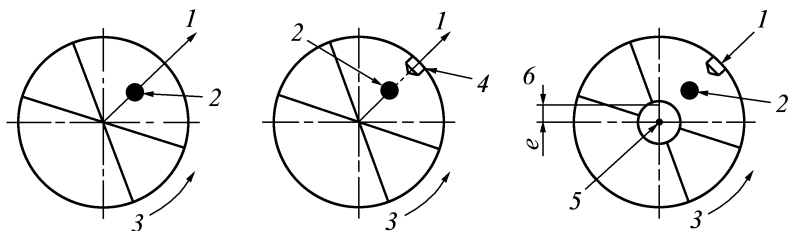


Рис. 28. Схема возникновения дисбаланса:

- 1 — центробежная сила; 2 — дисбаланс; 3 — направление вращения;
 4 — балансировочное отверстие; 5 — ось вращения;
 6 — остаточный эксцентриситет

Поскольку расстояние e обычно неизвестно, то сначала на балансировочной машине определяется действительная величина дисбаланса, которая далее уменьшается с помощью сверления отверстий, фрезерования лысок или установки противовесов на выбранном компенсационном радиусе (рис. 29). Приемлемое значение максимального остаточного эксцентриситета задается заказчиком, по его величине оценивается трудоемкость процесса балансировки.

Центробежная сила F , Н, возникающая в результате вращения несбалансированной массы m , кг, определяется по формуле

$$F = D\omega^2, \quad (16)$$

где D — величина дисбаланса (кг×м), возникающего в результате вращения несбалансированной массы m с угловой скоростью ω , с^{-1} . Величина дисбаланса D рассчитывается по формуле

$$D = me, \quad (17)$$

где e — эксцентриситет центра тяжести несбалансированной массы m относительно оси вращения, мкм или $\text{г} \times \text{мм} / \text{кг}$.

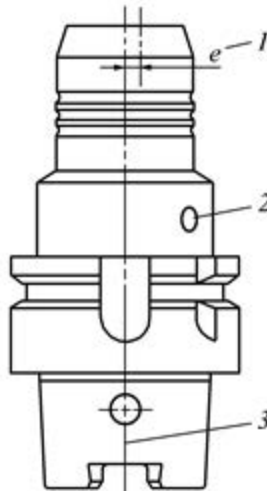


Рис. 29. Схема балансировки базисного агрегата:
 1 — остаточный эксцентриситет e оси, проходящей через центр масс, относительно оси вращения; 2 — балансировочное отверстие;
 3 — ось вращения e

Угловая скорость шпинделя ω подсчитывается по формуле:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}, \quad (18)$$

где n — частота вращения шпинделя мин^{-1} .

Например, центробежная сила F для инструмента, имеющего дисбаланс $D = 0,25 \times 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}$, на частоте вращения $n = 15\,000 \text{ мин}^{-1}$ составляет 616,8 Н.

Компенсационная масса m_x для балансировки определяется из соотношения

$$m_x = \frac{e_{\text{max}} m}{r}, \quad (19)$$

где e_{\max} — максимальный эксцентриситет, определяемый в зависимости от точности балансировки G (рис. 30); r — радиус, на котором устанавливается компенсационная масса m_k , мм.

Пример 1. Определение максимального остаточного эксцентриситета e_{\max} .

Масса инструмента $m = 0,8$ кг, частота вращения шпинделя $n = 30\,000$ мин⁻¹. Назначенный класс точности балансировки G1. По рис. 30 определяем, что $e_{\max} = 0,315$ мкм.

Пример 2. Определение компенсационной массы m_k .

Масса инструмента $m = 1,2$ кг, частота вращения шпинделя $n = 15\,000$ мин⁻¹. Класс точности балансировки — G6,3. Максимальный остаточный эксцентриситет $e_{\max} = 4$ г×мм/кг. На корпусе патрона радиусом $r = 32$ мм необходимо установить компенсационную массу:

$$m_k = \frac{4 \text{ г} \cdot \text{мм} \cdot 1,2 \text{ кг}}{\text{кг} \cdot 32 \text{ мм}} = 1,5 \text{ г}.$$

Постоянные источники дисбаланса создаются конструкцией или возникают в процессе производства. При смене инструмента в этом случае дисбаланс не меняется. На вспомогательном инструменте дисбаланс возникает из-за асимметричных углублений в приводных шпоночных пазах, расточек в оправках, а также из-за ориентирующего углового паза на фланцах конусов 7:24 и конусов HSK-A. На режущих инструментах дисбаланс возникает из-за различия в глубине и длине стружечных канавок, из-за лысок на хвостовиках, при использовании однолезвийных инструментов и т.п. Такой дисбаланс можно устранить до некоторой степени за счет адаптации конструкции или предварительной балансировки инструмента изготовителем.

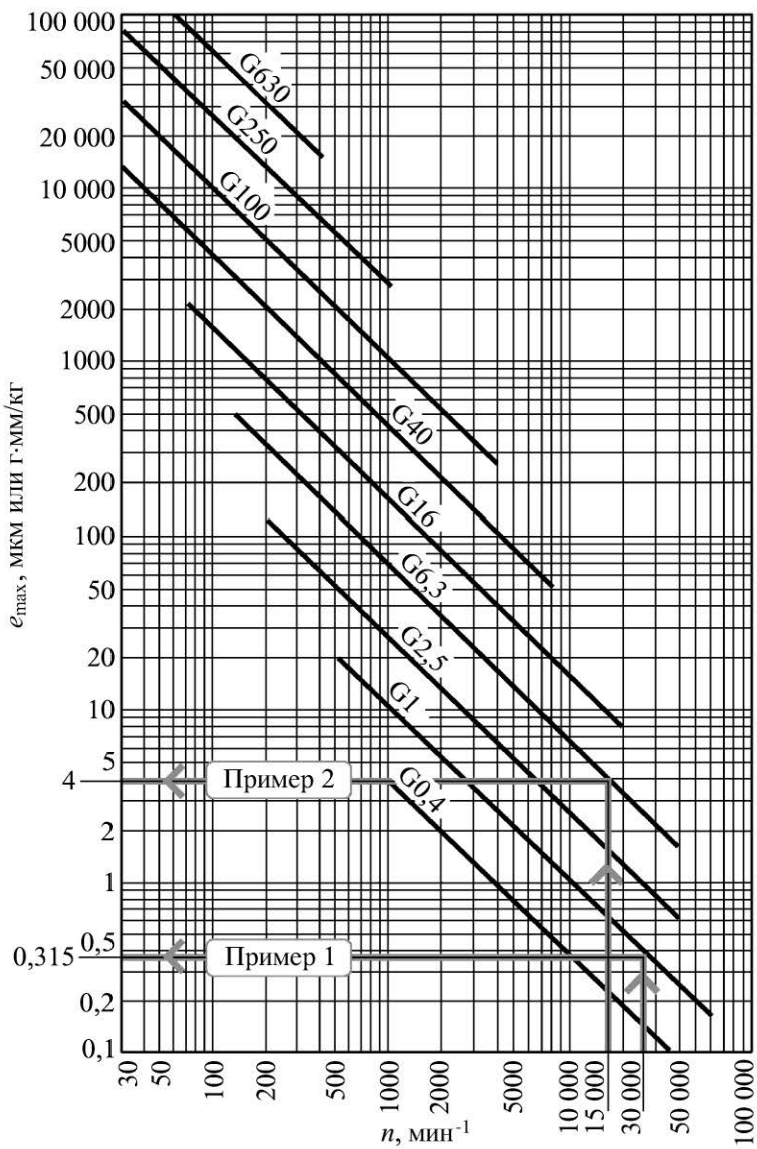


Рис. 30. Номограмма для определения максимального остаточного эксцентриситета e_{\max}

Переменные источники дисбаланса изменяют его величину при сборке и смене инструмента. К ним относятся цанги и зажимные гайки, которые занимают новое положение при ослаблении и повторном затягивании, зажимные винты, ввернутые на различную глубину, и т.п. Такой дисбаланс может корректировать только пользователь.

Основные указания по качеству балансировки:

1. Оправки (державки) с конусом 7:24 имеют воспроизводимую точность центрирования 5–10 мкм при смене в шпинделе. Это ограничивает качество предварительной балансировки.

2. Оправки HSK имеют воспроизводимую точность центрирования 1–3 мкм и, следовательно, более подходят для предварительной балансировки.

3. Патроны с «термозажимом» и «TRIBOS-R» могут быть подвергнуты 100%-ной предварительной балансировке, так как не имеют подвижных элементов.

4. Гидравлические патроны могут быть предварительно сбалансированы, так как они зажимают хвостовики инструмента, выполненные не грубее 6-го качества точности, однако это состояние может измениться, если меняется уровень гидравлической жидкости или положение зажимающего винта-плунжера.

5. Цанговые патроны для сверл и фрез можно сбалансировать для рабочих частот вращения примерно до 10 000 мин⁻¹; для более высоких рабочих скоростей необходима встроенная система балансировки.

Так как окончательная балансировка производится в сборе с режущим инструментом, то даже идеально сбалансированный патрон все равно приходится подвергать доработке; поэтому предпочтение отдают вспомогательным инструментам, имеющим встроенную систему балансировки, несмотря на то что они значительно дороже.

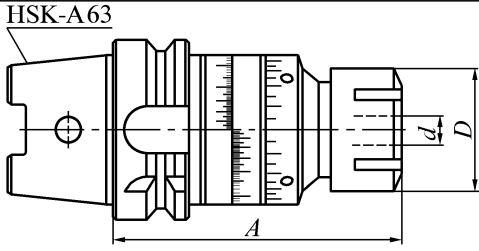
Наиболее часто встречается система, состоящая из двух колец, имеющих дисбаланс, надетых на корпус оправки и имеющих возможность поворачиваться относительно оправки и

между собой (табл. 10 и 11). При проведении балансировки кольца поворачиваются на определенный угол по отношению друг к другу и патрону до устранения дисбаланса и в этом положении фиксируются. Система двух компенсационных колец применима для устранения статического дисбаланса при частотах вращения до $20\,000\text{ мин}^{-1}$.

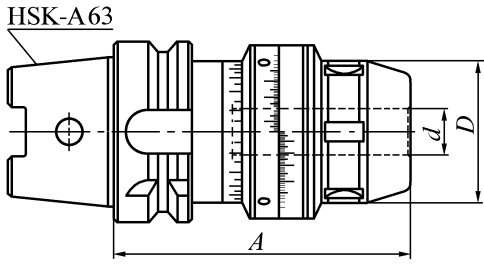
На практике необходимо производить балансировку в одной или двух плоскостях, поскольку дисбаланс — это сочетание статического дисбаланса (когда ось центра масс смещена параллельно оси вращения) и дисбаланса момента от пары сил (ось центра масс наклонена относительно оси вращения) с преобладанием одного или другого вида дисбаланса. Такое распределение дисбаланса называется динамическим дисбалансом.

Таблица 10

**Цанговые патроны
с встроенной системой балансировки, мм**

		
<i>d</i>	<i>D</i>	<i>A</i>
0,5–10	28	100; 160
0,5–16	42	

**Фрезерные патроны
с встроенной системой балансировки, мм**



d	D	A
10	50	100
20	60	110

Достижимое качество балансировки (остаточный дисбаланс) на стационарных балансировочных машинах ограничивается влиянием трех факторов.

1. Разрешающая способность балансировочных машин:
 - вертикальные балансировочные машины с собственным шпинделем — приблизительно $0,5-1 \text{ г}\times\text{мм}$ (подавляющее большинство машин для балансировки инструментальных оправок);
 - горизонтальные балансировочные машины без собственного шпинделя — приблизительно $0,1-0,2 \text{ г}\times\text{мм}$.
2. Погрешность системы зажима балансировочной машины.
3. Повторяемость центрирования инструментальной наладки в переходной втулке балансировочной машины:
 - для конуса 7:24 — $5-10 \text{ мкм}$;
 - для конуса HSK — $1-3 \text{ мкм}$.

В результате для наладки с конусом HSK 32 массой $0,3 \text{ кг}$ класс точности балансировки не может быть лучше $0,45 \text{ г}\times\text{мм}$, а для наладки с конусом HSK 100 массой 6 кг — $18 \text{ г}\times\text{мм}$ (соответственно G0,4 и G16 при частоте вращения $10\,000 \text{ мин}^{-1}$).

Обеспечить классы точности балансировки лучше вышеуказанных величин практически невозможно.

Кроме того, после установки и закрепления инструмента на станках создается дополнительный дисбаланс за счет:

- а) системы зажима инструмента — 10–20 г×мм;
- б) погрешности установки — 1–20 г×мм;
- в) остаточного дисбаланса шпинделя при обработке — 5–20 г×мм.

Рекомендации по балансировке инструмента приведены в табл. 12.

При обработке с очень большим объемом снимаемой стружки, например, при изготовлении из алюминия крупногабаритных авиационных деталей, несмотря на исключительную высокую расходуемую на резание мощность, нагрузка на шпиндельные опоры от сил, возникающих из-за дисбаланса, не является преобладающей. Следовательно, в диапазоне достигаемых при черновой обработке частот вращения 15 000–24 000 мин⁻¹ класс точности балансировки в интервале G6,3–G8,0 является вполне достаточным.

При чистовой обработке с высокими требованиями к качеству получаемой поверхности и к допускам на размеры необходимо, по возможности, свести к минимуму деформации, приведенные к вершине инструмента, вызываемые центробежными силами. Класс точности балансировки G6,3 при частоте вращения инструмента 10 000 мин⁻¹ соответствует остаточному эксцентриситету e порядка 6 мкм, а при 20 000 мин⁻¹ — 3 мкм. Поэтому в этом случае требуется обеспечивать соблюдение по меньшей мере класса точности G6,3. При финишной обработке не исключена необходимость и более высоких классов точности балансировки. В этом случае балансировку инструментальных наладок после их смены следует производить непосредственно в шпинделе станка.

Рекомендации по балансировке инструмента

Вылет инструмента	Частота вращения, мин ⁻¹				
	1 →	5 000 →	10 000 →	20 000 →	≥30 000
$L \geq 2D$	Предварительная балансировка в одной плоскости	Предварительная балансировка в двух плоскостях	Предварительная балансировка изготовителем в двух плоскостях; балансировка с режущим инструментом в одной плоскости	Предварительная балансировка изготовителем в двух плоскостях; балансировка с инструментом в двух плоскостях	Предварительная балансировка изготовителем в двух плоскостях; компенсация, встроенная в шпиндель станка
$L \leq 2D$	Балансировка не требуется	Предварительная балансировка в одной плоскости	Предварительная балансировка в двух плоскостях	Предварительная балансировка изготовителем в двух плоскостях; балансировка с инструментом в одной плоскости	Предварительная балансировка изготовителем в двух плоскостях; компенсация, встроенная в шпиндель станка

ГЛАВА 2. ОСНАСТКА ДЛЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО РЕЗАНИЯ

При высокопроизводительном точении и фрезеровании с большими глубиной и шириной резания на современных многооперационных станках, как правило, используется инструмент с большими вылетами. Вылеты увеличены из-за необходимости применять универсальный инструмент. Универсальность достигается за счет агрегатирования инструмента [2], когда на суппорте или в шпинделе станка устанавливают унифицированные державки (базисные агрегаты), а в них закрепляют сменные наладки: переходники, удлинители и режущие части. Из-за больших вылетов возрастает биение, больше проявляется динамический дисбаланс. При обработке с большой шириной резания возрастает склонность к вибрациям.

Все это, наряду с большой мощностью резания, выдвигает повышенные требования к силовым характеристикам инструментальной оснастки.

2.1. Требования к оснастке

Высокопроизводительное фрезерование пазов и уступов характеризуется режимами резания, приведенными в табл. 13. Для фрезерования стали с 180–280 НВ на указанных режимах требуется значительная мощность (рис. 31).

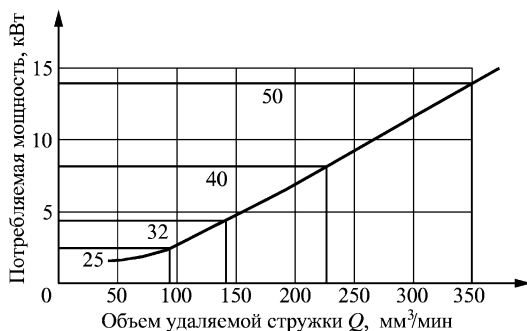


Рис. 31. Мощность, потребляемая для высокопроизводительного фрезерования стали (230 НВ): 25; 32; 40 и 50 — диаметр фрезы

Таблица 13

**Режимы высокопроизводительного фрезерования
концевыми фрезами**

Обрабатываемый материал		Твердость, НВ	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/мин, при диаметре фрезы, мм			
				25	32	40	50
Р	Малокربонистая сталь	≤180	150–200	100–140	100–140	100–140	100–140
			150–200	180–220	180–220	200–250	200–250
	Углеродистая сталь; легированная сталь	180–280	120–200	100–140	100–140	120–150	120–150
			120–200	120–180	120–180	150–200	150–200
		280–350	120–160	80–120	80–120	100–150	100–150
			120–160	100–140	100–140	120–180	120–180
	Высоколегированная сталь	200–280	80–120	80–120	80–120	100–150	100–150
			80–120	100–140	100–140	120–180	120–180
М	Коррозионно-стойкая сталь	≤200	80–140	50–90	50–90	50–90	50–90
			80–140	80–120	80–120	100–140	100–140
К	Чугун	$\sigma_B \leq 450$ Н/мм ²	120–160	180–220	180–220	200–250	200–250
			120–160	200–250	200–250	240–280	240–280

Для высокопроизводительного наружного точения, точения по контуру и для подрезки торцов резцами с хвостовиками HSK типов А и С для автоматической смены на многооперационных токарных станках назначаются режимы резания, указанные в табл. 14. Рекомендуемые площади сечения удаляемой стружки для пластин форм CNM и DNM с длиной

режущей кромки 12–15 мм достигают 2,5 мм². Соответствующие объемы Q стружки на указанных режимах требуют от главного привода станка мощности не менее 25 кВт.

Таблица 14

Режимы высокопроизводительной токарной обработки

Обрабатываемый материал		Твердость, НВ	Обработка	Скорость резания, м/мин
Р	Малоуглеродистая сталь	≤180	Финишная	150–350
			Чистовая	200–300
			Получистовая	150–250
	Углеродистая сталь; легированная сталь	180–280	Финишная	150–300
			Чистовая	250–250
			Получистовая	120–220
М	Коррозионно-стойкая сталь	≤200	Финишная	100–150
			Чистовая	80–120
			Получистовая	70–120
К	Чугун	$\sigma_b \leq 350 \text{ Н/мм}^2$	Финишная	180–300
			Чистовая	160–250
			Получистовая	150–240

При высокопроизводительном сверлении напайными и цельными твердосплавными сверлами на режимах, указанных в табл. 15, сопротивление резанию при обработке коррозионно-стойкой стали с твердостью 220 НВ на скорости 60 м/мин характеризуется следующими потребляемой мощностью (рис. 32), крутящим моментом (рис. 33) и осевой нагрузкой (рис. 34).

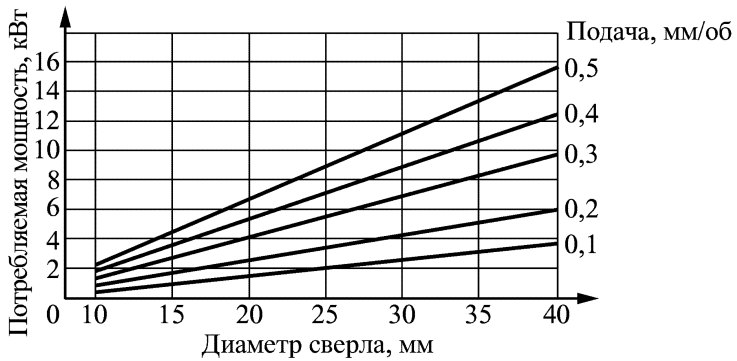


Рис. 32. Мощность, потребляемая для высокопроизводительного сверления

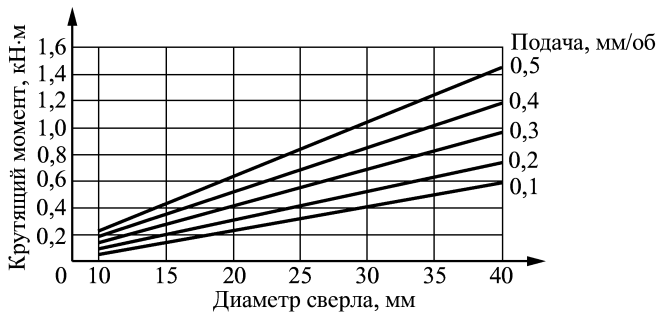


Рис. 33. Крутящий момент при высокопроизводительном сверлении

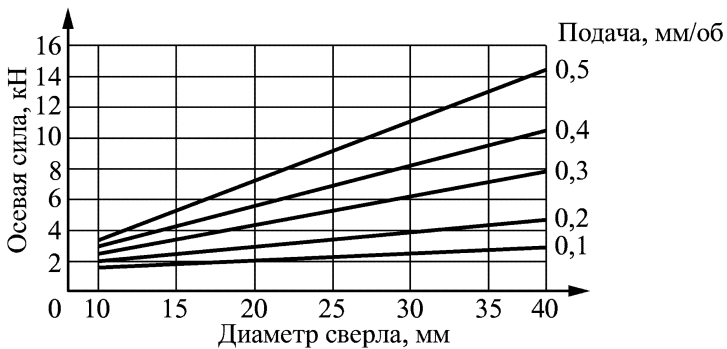


Рис. 34. Осевая сила при высокопроизводительном сверлении

Режимы высокопроизводительного сверления

Обрабатываемый материал		Твердость, НВ	Диаметр сверла, мм					
			Св. 8,0 до 13,0		Св. 13,0 до 18,0		Св. 18,0 до 40,0	
			Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об
Р	Малоуглеродистая сталь	≤180	40–65	0,20–0,30	50–70	0,25–0,35	60–85	0,25–0,35
	Углеродистая сталь; легированная сталь	180–280 280–350	35–60 30–50	0,20–0,30 0,20–0,30	45–70 40–60	0,25–0,35 0,20–0,30	55–80 45–65	0,25–0,35 0,20–0,30
М	Коррозионно-стойкая сталь	180–220	20–40	0,20–0,27	25–45	0,20–0,30	30–50	0,25–0,35
К	Чугун	$\sigma_b \leq 350$ Н/мм ²	40–70	0,25–0,35	50–80	0,30–0,40	60–90	0,35–0,45
	Ковкий чугун	$\sigma_b \leq 450$ Н/мм ²	40–65	0,20–0,30	45–70	0,25–0,35	55–80	0,25–0,35
S	Жаростойкий сплав	–	10–20	0,05–0,12	15–25	0,10–0,20	20–30	0,10–0,20
	Титановый сплав	–	10–25	0,10–0,17	20–35	0,15–0,25	30–40	0,20–0,30

Анализ приведенных сведений позволяет сформулировать основные требования к инструментальной оснастке для крепления высокопроизводительного режущего инструмента.

1. Диапазон диаметров зажимаемых цилиндрических хвостовиков должен как минимум охватывать размеры от 8 до 32 мм.

2. Крутящий момент, передаваемый зажимным патронам для цилиндрических хвостовиков фрез и сверл должен быть не менее $1\,600\text{ Н}\cdot\text{м}$.

3. Зажимной патрон должен удерживать цилиндрический хвостовик инструмента от перемещения осевой силой резания до 14 кН.

Автоматически сменяемые токарные резцы, закрепляемые в унифицированных державках многооперационных станков, должны иметь хвостовики с посадочным диаметром 50–63 мм и передавать крутящий момент, создаваемый силой резания P_z не менее $0,6\text{--}1,0\text{ Н}\cdot\text{м}$.

2.2. Оснастка для осевого режущего инструмента

Принцип работы патрона Coro Grip (рис. 35) основан на деформации стенок корпуса 4. Для этого втулка 1 конусным отверстием с очень маленькой конусностью под действием высокого давления гидравлической жидкости, подаваемой через штуцер 3, перемещается вверх к хвостовику патрона. Из-за большого самоторможения втулки 1 патрон Coro Grip может работать на очень высоких частотах вращения без опасности самораскрепления инструмента (рис. 36). Однако, если в патроне Coro Grip применяются переходные втулки и сменные цанги, то частота вращения патрона должна быть ограничена $8\,000\text{ мин}^{-1}$.

Для раскрепления инструмента давление подается к штуцеру 2 (см. рис. 35).

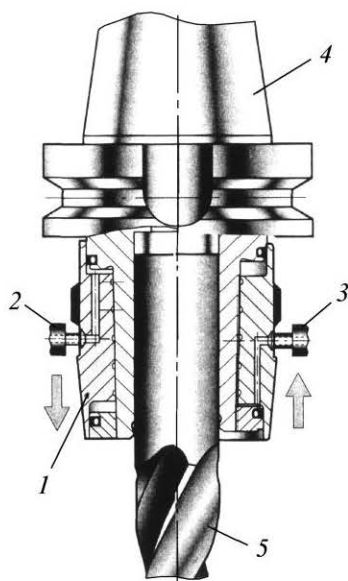


Рис. 35. Схема действия патрона Coro Grip

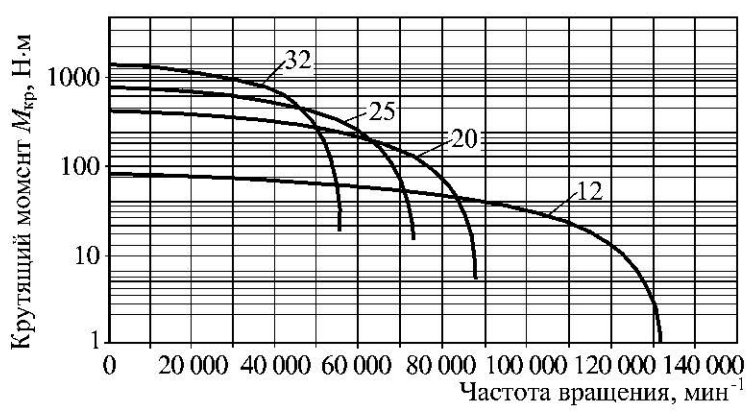


Рис. 36. Зависимость передаваемого крутящего момента $M_{кр}$ от частоты вращения патрона Coro Grip:
 12; 20; 25 и 32 — диаметры закрепляемых хвостовиков

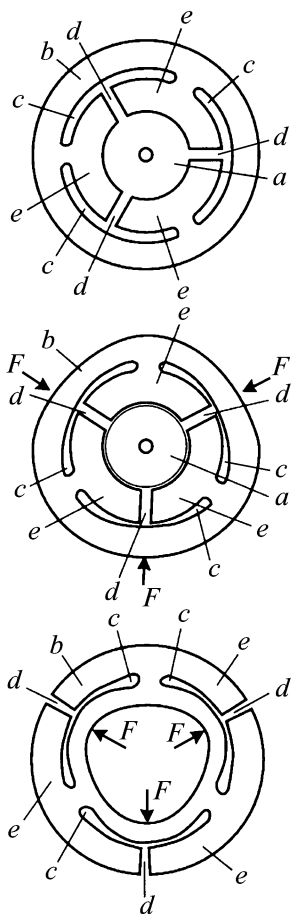


Рис. 37. Разъемное соединение деталей
(патент Германии № 19827109)

В патронах TRIBOS-R для крепления цилиндрических хвостовиков используется идея патента Германии № 19827109 фирмы Fritz Schunk GmbH & Co. RG.

Разъемное соединение деталей по этому патенту осуществляется следующим образом (рис. 37).

Для соединения деталей *a* и *b* деталь *b* посредством радиальных сжимающих сил F упруго деформируется таким образом, чтобы деталь *a* получила возможность входить в деталь *b*. После ввода одной детали в другую, когда деформированная деталь в результате снижения или снятия усилий сжатия повторно упруго деформируется, получают соединение с натягом. Деталь *b* представляет собой полый корпус с расположенными внутри него по окружности вырезами *c*, которые, в свою очередь, с помощью срединных отверстий *d* образуют сегменты *e* корпуса, служащие в качестве зажимных элементов. Линии действия сил F сжатия лежат в срединных плоскостях отверстий *d*, так что при упругой деформации детали *b* сегменты *e* корпуса радиально перемещаются в области вырезов *c* в зависимости от направления воздействия сил F сжатия и расположения сегментов *c* корпуса на деформируемой детали *b*.

Практически это соединение реализуется за счет шлифования внутреннего отверстия при сжатии наружной поверхности патрона TRIBOS-R силами F . После снятия сжатия упругие свойства материала патрона возвращают ему исходное положение, при котором внутреннее отверстие приобретает «РК-профиль». Закрепление инструмента в патроне TRIBOS-R осуществляется в 4 этапа.

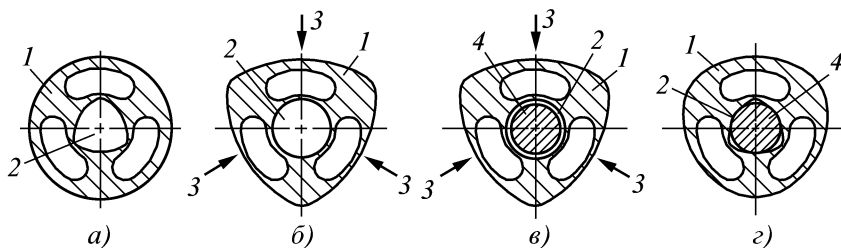


Рис. 38. Этапы закрепления инструмента в патроне TRIBOS-R

1. В нерабочем состоянии посадочное отверстие корпуса патрона *1* с механически деформируемым корпусом имеет форму тригона *2* (рис. 38, *a*).

2. После приложения деформирующих сил 3 к наружной поверхности корпуса патрона 1 посадочное отверстие 2 приобретает форму окружности постоянного радиуса (рис. 38, б).

3. В образовавшееся цилиндрическое отверстие 2 может быть вставлен хвостовик инструмента 4 (рис. 38, в).

4. После снятия деформирующего воздействия сил 3 посадочное отверстие 2 стремится вернуться к форме тригона и зажимает хвостовик инструмента 4 (рис. 38, г).

Роликовые патроны также применяются для высокопроизводительного резания. В них сила закрепления создается за счет заклинивания игольчатых роликов 3 (рис. 39) между гайкой 5 и конической наружной поверхностью корпуса 1 . Закаленные стальные ролики укладываются в латунный сепаратор 4 в шахматном порядке в три ряда. Сепаратор фиксируется на корпусе 1 запорными кольцами 2 , 6 и 7 . Как правило, размещают 126 роликов диаметром 2 мм и длиной 10 мм. При размещении роликов под углом $1,5-2^\circ$, огибающая их поверхность образует гиперboloид (конструкция Шухова), который при вращении гайки дополнительно деформирует корпус 1 , создавая более равномерный зажим. Конструктивные элементы сборки роликового патрона показаны на рис. 40.

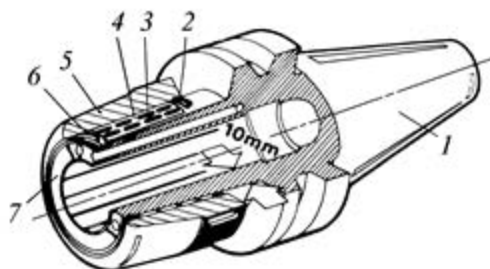


Рис. 39. Устройство роликового патрона

Для универсальности в роликовом патроне применяют сменные накладки — разрезные цилиндрические цанги (рис. 41 и табл. 16). В случае уменьшения длины L_1 активного зажима пропорционально уменьшается величина передаваемого крутящего момента $M_{кр}$ (рис. 42, а).

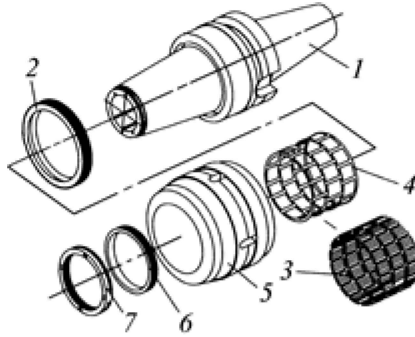


Рис. 40. Конструктивные элементы роликового патрона:
обозначения см. рис. 39

Таблица 16

Основные размеры, роликовых патронов, мм

Конус 7:24	d_1	d_2	d_3	L	l_1	l_2
30	20	55	6; 8; 10; 12; 16	145,4	75	55
				160,4	90	
	25	60	6; 8; 10; 12; 16; 20	145,4	75	
				160,4	90	

Конус 7:24	d_1	d_2	d_3	L	l_1	l_2
40	20	55	6; 8; 10; 12; 16	172,4	80	55
				192,4	100	
				207,4	135	
	25	60	6; 8; 10; 12; 16; 20	172,4	80	65
				192,4	100	
				227,4	135	
50	20	55	6; 8; 10; 12; 16	244,8	105	55
				289,8	150	
				244,8	105	
50	25	60	6; 8; 10; 12; 16; 20	274,8	135	65
				304,8	165	
				249,8	110	
50	32	73	6; 8; 10; 12; 16; 20; 25	274,8	135	65
				304,8	165	
	42	95	10; 12; 16; 20; 25; 32	274,8	135	90
				304,8	165	

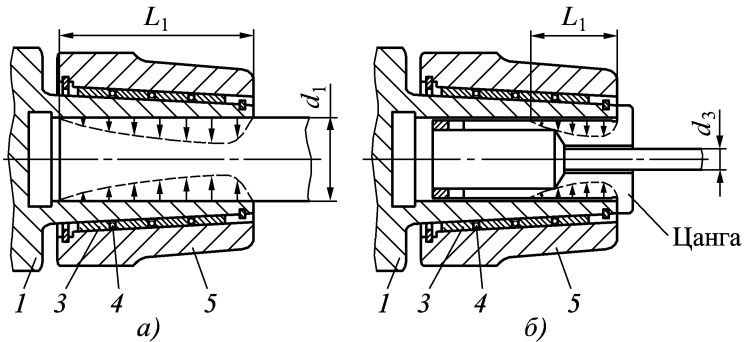


Рис. 41. Деформация корпуса (а) роликового патрона и закрепленной в нем цилиндрической цанги (б): обозначения см. рис. 39

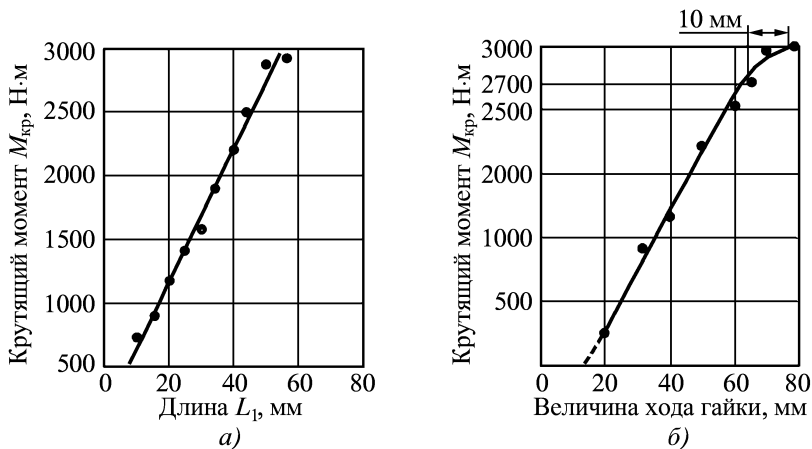


Рис. 42. Зависимость для роликового патрона с номинальным диаметром $d_1 = 32$ мм крутящего момента $M_{кр}$: а — от длины активного зажима L_1 ; б — от величины хода гайки

На передаваемый крутящий момент $M_{кр}$ в роликовых патронах существенно влияет величина поворота гайки, измеренная по дуге наружного диаметра d_2 (см. табл. 16). Как показано на рис. 42, б, при повороте по дуге длиной более 60 мм (более 1/4 оборота) прирост крутящего момента замедляется и на дуге 10 мм составляет всего 300 Н×м. Зависимость крутящего момента $M_{кр}$ от величины номинального диаметра d_1 роликового патрона показана на рис. 43, а от диаметра d_3 посадочного отверстия в сменной цанге — на рис. 44.

Сравнение зажимных патронов различных конструкций (рис. 45) показывает, что необходимое для эксплуатации патрона TRIBOS-R монтажное устройство полностью автономно и не требует подведения энергии от внешнего источника. Отпадает также необходимость в охлаждающем устройстве для «термозажима». В одном и том же инструментальном патроне можно закреплять твердосплавные и быстрорежущие инструменты, а передаваемые ими крутящие моменты значительно превосходят требуемые для обработки. В отличие от цангового патрона в системе TRIBOS-R отсутствуют подвижные детали, что делает ее

механически нечувствительной, крепление является полностью беззносным и не требует проведения каких-либо операций по поддержанию этой системы в исправности. Еще одним положительным свойством системы TRIBOS-R является то, что зажимное устройство выполнено цельным и симметричным.

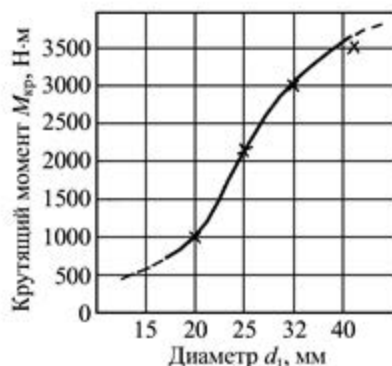


Рис. 43. Зависимость крутящего момента $M_{кр}$ от номинального диаметра d_1

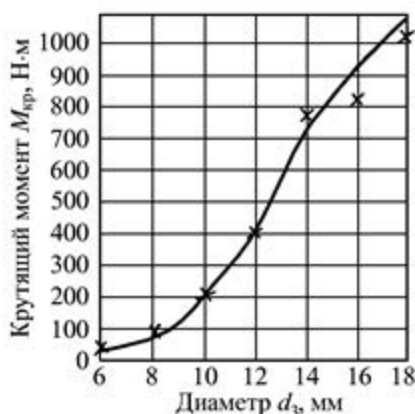


Рис. 44. Зависимость крутящего момента $M_{кр}$ роликового патрона со сменной цангой с наружным диаметром 32 мм от ее внутреннего диаметра d_3

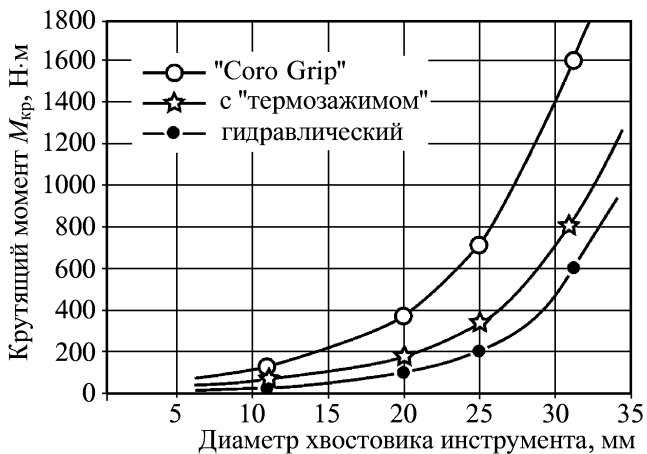


Рис. 45. Зависимость крутящего момента $M_{кр}$ от диаметра закрепленного хвостовика

Деформация многоугольного профиля (см. рис. 38) происходит так же, как и у гидравлического разжимного патрона в границах упругой деформации стали, ниже границы предела текучести, что исключает появление структурных изменений в материале корпуса.

Связанные с внедрением патронов TRIBOS-R первоначальные инвестиции на 30–50 % ниже, чем при внедрении системы «термозажим», а по сравнению с другими системами, не нуждающимися в специальных зажимных устройствах, система TRIBOS-R в связи с небольшой ценой патрона окупается после внедрения первых 6 патронов.

Сравнение патрона TRIBOS-, патрона с односторонним прижимом винтами и патрона с «термозажимом» показало, что система TRI-BOS-R обеспечивает бóльшую стойкость режущего инструмента при высокопроизводительной обработке (табл. 17).

Серьезным недостатком патронов TRIBOS-R является уникальность технологии их изготовления, что не позволяет воспроизводить их в цехах инструментальных предприятий.

Положительной чертой патрона Coro Grip является то, что в нем можно закреплять хвостовики с более широкими допусками, чем в других патронах, вплоть до H7.

Таблица 17

Сравнение патронов разных конструкций

Параметр	Патрон		
	TRIBOS-R	с односторонним зажимом	с «термозажимом»
Длина патрона, %	100	77,7	102,8
Стойкость инструмента, выраженная длиной резания, %	100	55,0	77,7
Жесткость	100	88,2	95,8
Величина, обратная моменту инерции	100	50,8	48,1

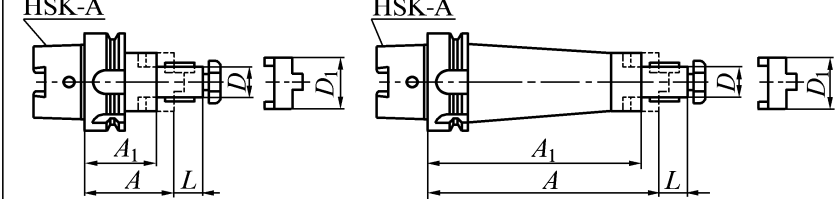
Основные размеры других конструкций инструментальной оснастки, применяемой для высокопроизводительного резания, приведены в табл. 18–23.

Оправки для торцовых фрез, мм

B (увеличено)

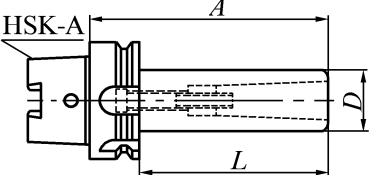
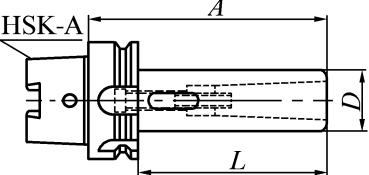
HSK-A	<i>D</i>	<i>D</i> ₁	<i>D</i> ₃	<i>A</i>	<i>L</i>	<i>M</i>
50	16	40	-	50	17	-
	22	50		60	19	
	27	60			21	
	32	70			24	
63	16	40	-	50; 150	17	-
	22	50			19	
	27	60		60; 160	21	
	32	78			24	
	40	89	66,7	27	M12	
100	16	40	-	50; 160	17	-
	22	50			19	
	27	60			21	
	32	78			24	
	40	89	66,7	27	M12	
	50	98	-	70	30	-
	60	130	101,6			M16

Оправки для торцовых и дисковых фрез, мм



HSK-A	D	D_1	A	A_1	L
50	16	32	50	40	17
			100	90	
	22	40	50; 150	38	19
			65	53	
27	48	100	88	21	
		65	51		
32	58	100	86	24	
		65	51		
63	16	32	60	50	17
			100	90	
			160	150	
	22	40	60	48	19
			100	88	
			160	148	
	27	48	60	48	21
			100	88	
			160	148	
	32	58	60	46	24
			100	86	
			160	146	
40	70	70	56	27	
		100	86		
		160	146		
100	16	32	60	50	17
			100	90	
	22	40	60	48	19
			100	88	
	27	48	60	48	21
			100	88	
	32	58	60	46	24
			100	86	
	40	70	70	56	27
			100	86	
50	90	80	64	30	

Втулки переходные с конусом Морзе, мм

Исполнение 1		Исполнение 2			
					
HSK-A	Конус Морзе	Исполнение	D	A	L
50	1	2	25	100	74
	2		32	120	94
	3		40	140	114
	1	1	25	100	74
	2		32	120	94
	3		40	140	114
63	1	2	25	100	74
	2		32	120	94
	3		40	140	114
	4		48	160	134
	1	1	25	100	74
	2		32	115	89
	3		40	135	109
	4		48	160	134
100	1	2	25	110	81
	2		32	120	91
	3		40	150	121
	4		48	170	141
	5		63	200	171

Примечания

1. Исполнение 1 — для фрез.
2. Исполнение 2 — для сверл и фрез.

**Державки для цилиндрических хвостовиков
с лыской, мм**

HSK-A		HSK-A		
HSK-A	D	D_1	A	L
50	6	25	65	35
		18	120	
	8	28	65	
		22	120	
	10	35	65	39
		30	120	
50	12	42	80	44
		35	120	
	14	44	80; 120	47
	16	48		
	18	50		
	20	52	105	49
25	65	54		
63	6	25	65	35
	8	26		39
	10	35		
	12	42	80	44
	14	44		47
	16	48		
	18	50		
	20	52	49	
	25	65		54
32	72	110	58	

Окончание табл. 21

HSK-A	D	D_1	A	L
100	6	25	80; 120	35
		18	160	
	8	28	80; 120	
		22	160	
	10	35	60; 120	39
		30	160	
	12	42	80; 120	44
		35	160	
	14	44	80; 120; 160	
	16	48	100	
		42	160	
	18	50	100; 160	
	20	52	100	49
		45	160	
25	65	100; 160	54	
32	72		58	

Таблица 22

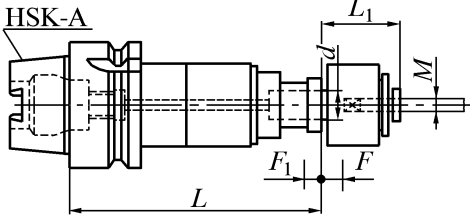
Патроны цанговые, мм

HSK-A	d	D	L
63	2-12	42	100
	5-25	63	120
80	2-12	42	100
	5-25	63	120
	20-40	85	150
100	2-12	42	110

Примечание

Комплект цанг поставляется по заказу.

Патроны резьбонарезные, мм



HSK-A	M	d	L	F	F_1	L_1
50	M3–M12	19	125	15	5	41
	M14–M24	32	150	20	8	61
63	M3–M12	19	125	15	5	41
	M14–M24	32	150	20	8	61
80	M3–M12	19	125	15	5	41
	M14–M24	32	150	20	8	61
	M27–M42	50	200	25	10	83
100	M3–M12	19	125	15	5	41
	M14–M24	32	150	20	8	61
	M27–M42	50	200	25	10	83

Примечания

1. Осевая компенсация: F — растяжение, F_1 — сжатие.
2. Комплект сменных резьбонарезных головок поставляется по заказу.

2.3. Оснастка многооперационных токарных станков

Дальнейшее развитие инструментальной оснастки для токарных многооперационных станков с ЧПУ привело к замене стандартных резцов, закрепляемых в резцедержателях, на специальные конструкции (рис. 46).

Важным преимуществом такого решения является возможность применения одних и тех же конструкций хвостовиков инструмента как на токарных, так и на фрезерно-сверлильно-расточных операциях (рис. 47).

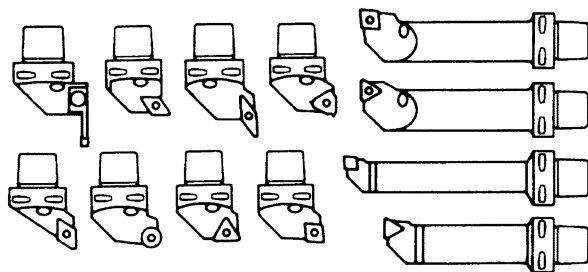


Рис. 46. Специальные конструкции проходных, канавочных и расточных резцов для закрепления в резцедержателях токарных станков

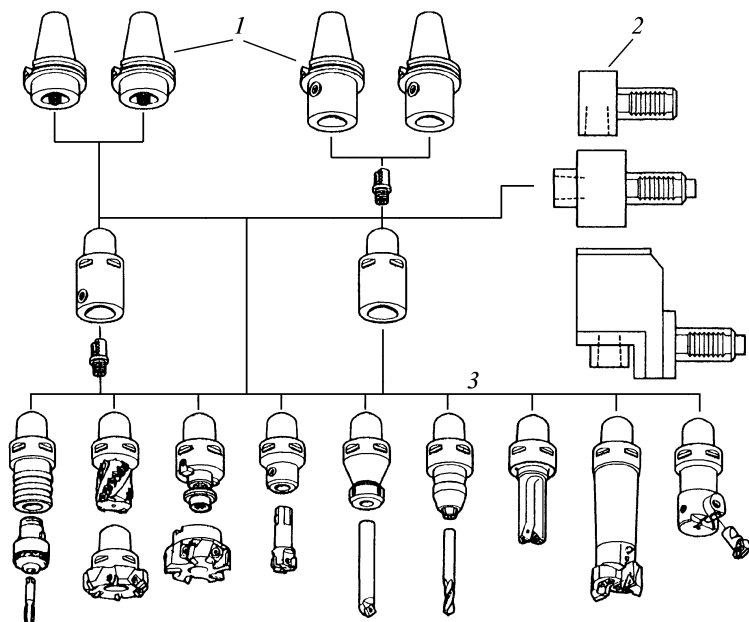


Рис. 47. Применение специальных конструкций патронов 1 и резцедержателей 2 для вращающегося инструмента 3

В качестве базисуемых в специальных конструкциях используют конические хвостовики конусностью 1:10 или 1:20 с размерами фланца для торцового контакта по нормальному ряду (рис. 48). Это приближает эти конструкции к инструментальной оснастке с хвостовиками HSK и обеспечивает дальнейшую унификацию инструмента. В настоящее время унифицированы конструкции проходных (рис. 49), канавочных и расточных резцов, сверл и других инструментов. Сравнение размеров специальных конструкций и стандартных проходных резцов с главным углом в плане $\varphi = 95^\circ$ приведено в табл. 24.

Система Coromant Capto фирмы Sandvik Coromant (Швеция) основана на применении хвостовика, имеющего в сечении трехгранную форму с радиусными скруглениями (рис. 50). Такое соединение получило название «ПК-профиль» и отличается от обычных конических соединений.

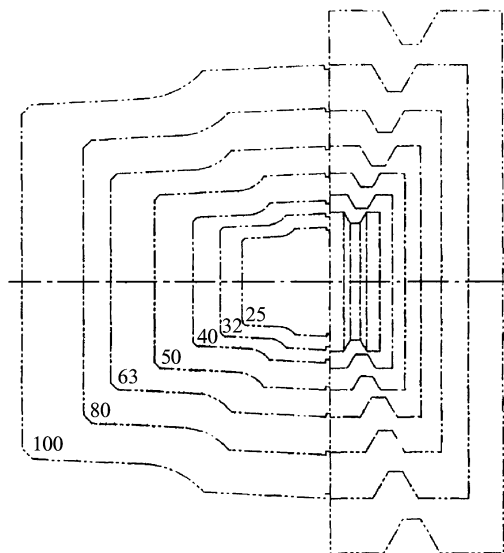


Рис. 48. Типоразмерный ряд хвостовиков специальных конструкций

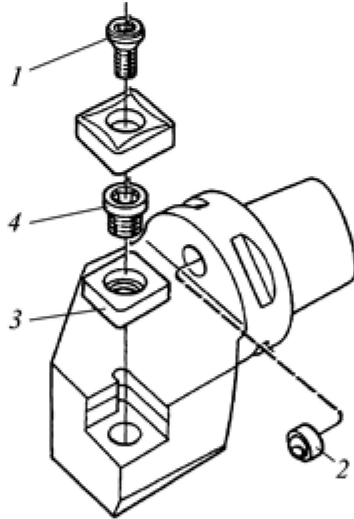


Рис. 49. Унифицированная конструкция проходного резца SCLC с пластиной ССМТ, закрепленной винтом: 1 — винт; 2 — втулка для подвода СОЖ; 3 — подкладка; 4 — резьбовая втулка

Таблица 24

Сравнение размеров, специальных конструкций и стандартных проходных резцов SCLC с $\phi = 95^\circ$, мм

Специальная конструкция				Стандартный резец				
l	D	f_1	l_1	l	b	f_1	h	l_1
9	32	22	40	9	12	16	12	80
	40	27	50		16	20	16	100
	50	35	60		20	25	20	125
	63	45	65					

Окончание табл. 24

l	D	f_1	l_1	l	b	f_1	h	l_1
12	32	22	40	12	20	25	20	125
	40	27	50					
	50	35	60		25	32	25	150
	63	45	65					

Обозначение: l — длина режущей кромки пластины.

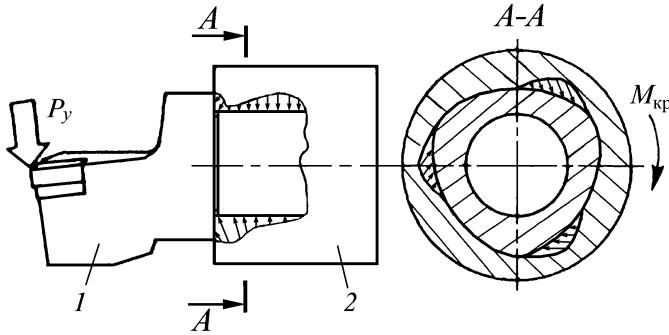


Рис. 50. Конструкция соединения в системе Coromant Capto:
1 — резец; 2 — резцедержатель

Она обладает следующими преимуществами:
а) повышенной жесткостью и надежностью крепления;
б) равномерным распределением напряжений при передаче крутящего момента $M_{кр}$; в) более высокой жесткостью при нагружении силой резания P_y при сопоставимой массе резцов. Также соединение является хорошим крутильным демпфером при обработке прерывистых поверхностей.

В системе Coromant Capto принято следующее кодирование хвостовиков с диаметрами фланца 32 мм (код С3), 30 мм (код С4), 50 мм (код С5), 63 мм (код С6) и 80 мм (код С8).

Этими хвостовиками резцы 1 и другие специальные конструкции базируются и закрепляются в резцедержателях 2 (рис. 51). На первом этапе закрепления (рис. 51, а) тяга 3 с сегментами 4 входит в отверстие хвостовика. После перемещения в обратном направлении тяга 3 своей тороидальной поверхностью раздвигает сегменты 4 до их

взаимодействия с расточкой специального профиля. Дальнейшее перемещение тяги 3 приводит к упругой деформации хвостовика и к контакту торцовых поверхностей его фланца и резцедержателя (рис. 51, б). При соединении модулей используется также резьба 5 (рис. 51, а), в которую вворачивается стягивающий болт.

При ручной смене инструмента с хвостовиками Coromant Capto, например, в резцедержателях по ГОСТ 24900–81, для перемещения тяги 3 (см. рис. 51) применяется эксцентриковый зажим (рис. 52), когда тяга 3 перемещается путем поворота кулачка.

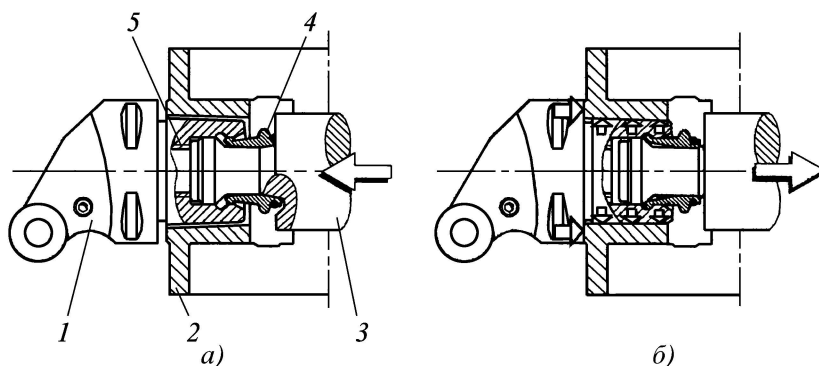


Рис. 51. Схема закрепления хвостовика инструмента Coromant Capto:

1 — резец; 2 — резцедержатель; 3 — тяга; 4 — сегмент; 5 — резьба

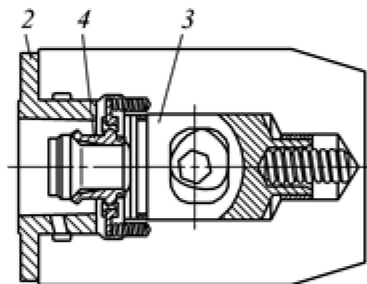


Рис. 52. Устройство ручного закрепления хвостовиков Coromant Capto (обозначения — см. рис. 51)

При автоматической смене используются специальные держатели с гидромеханическим закреплением хвостовиков «Coromant Capto» (рис. 53 и табл. 25). К фланцу 1, служащему для фиксации держателя в револьверной головке, присоединяется цилиндр 2, в котором размещается тяга 3.

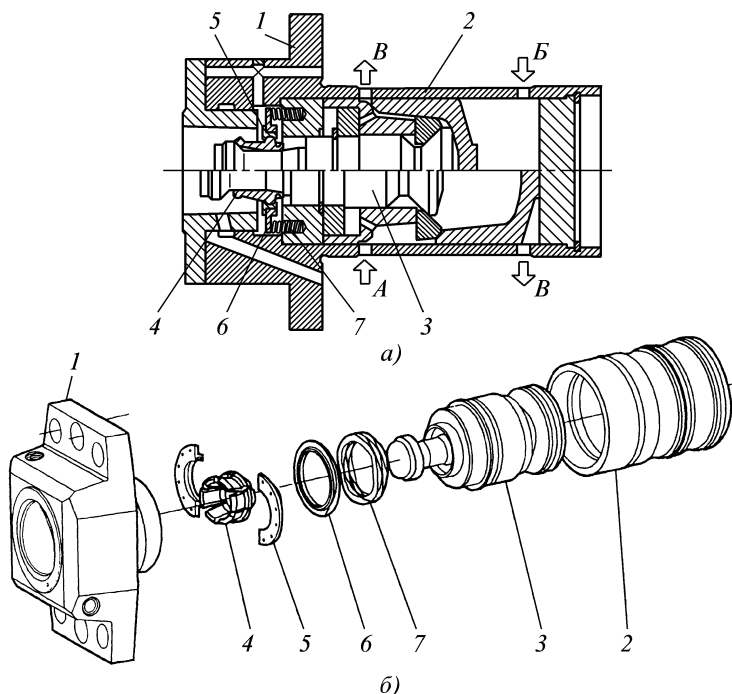


Рис. 53. Держатель с гидромеханическим закреплением хвостовиков Coromant Capto:

a — держатель в сборе; *б* — детали

На тяге 3 с помощью полуколец 5 устанавливаются сегменты 4, подпружиненные кольцом 6 или шестью цилиндрическими, или одной плоской пружиной 7. При подаче масла по стрелке *B* (рис. 53, *a*) тяга 3 с сегментами 4 перемещается в отверстие хвостовика Coromant Capto, после подачи масла по стрелке *A* тяга 3 раздвигает сегменты 4 и закрепляет инструмент. Стрелками *B* показаны каналы отвода масла.

**Основные размеры, держателя с гидромеханическим
закреплением хвостовиков Coromant Capto, мм**

Код	b_2	D_1	D^*	h_2	l_1	l_2	l_3	d
C4	48	56	260	96	25	74	10	42
C5	64	70	300	112	35	88	12	55
C6	84	90	400	143	40	105	16	70
C8	100	110	500	180	50	120	20	90

* Минимальный диаметр револьверной головки для встраивания держателя.

Если в базовом держателе с ручным или автоматическим закреплением резцовая головка по какой-то причине не установлена, то шлифованные высокоточные посадочные поверхности следует защищать от загрязнения и повреждения, используя заглушки. Заглушки рекомендуется применять и во время хранения базовых держателей на складе.

Заготовки Coromant Capto для самостоятельного изготовления специального режущего инструмента поставляются с окончательно обработанными посадочными поверхностями хвостовика, прошедшими термообработку и шлифовку. Передняя часть заготовки позволяет легко произвести механическую обработку, так как изготавливается из стали типа 25ХМ4 с твердостью 270–325 НВ, допускающей последующую закалку и отпуск. Термическая обработка после механической обработки выполняется путем частичного индукционного нагрева (рис. 54).

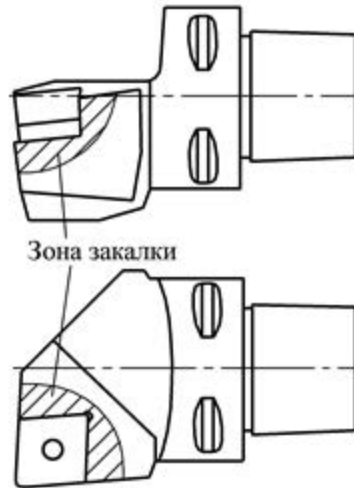


Рис. 54. Термообработка заготовок инструмента

Для обеспечения твердости только поверхностного слоя применяют индукционную закалку токами высокой частоты, а для объемной закалки рекомендуется применять токи средней частоты. Максимальная твердость, которую можно получить, не более 50 HRC при следующих режимах термообработки: температура закалки — 840–870 °С, охлаждение со средней скоростью в соляной ванне, отпуск — 75 мин при температуре 200 °С.

Для установки инструмента Coromant Carpo в шпинделях станков с ЧПУ фрезерной и сверлильно-расточной групп применяют специальные переходники для шпинделей с конусом HSK, основные размеры которых приведены в табл. 26.

Наряду с Coromant Carpo широко распространена специальная конструкция KM WIDAFLEX, созданная совместно фирмами Kennametal (США) и WIDIA (Германия).

Аналогичная конструкция под названием Maxiflex UTS выпускается фирмой CERATIZIT (Люксембург). В частности, система «TIZIT Maxiflex UTS-MIY» поставляется для оснащения токарно-фрезерных станков Mazak Integrex типоразмеров 100, 200, 300, 400, Y и SY японской

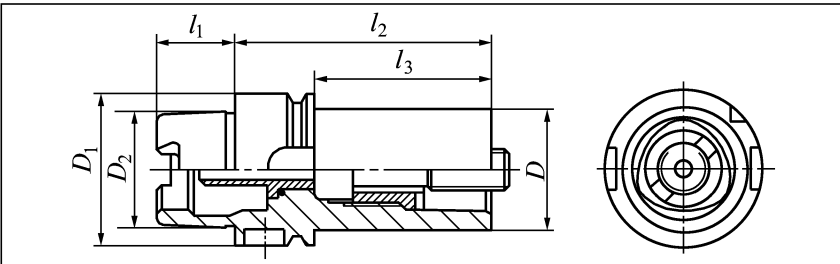
станкостроительной фирмы Yamazaki Mazak. Применение инструмента Maxiflex UTS обеспечивает существенную экономию площадей, занимаемых станками. Высокая повторяемость положения режущих кромок позволяет сократить количество измерительных переходов.

Закрепление хвостовиков KM WIDAFLEX осуществляется автоматически или вручную. Схематически процесс ручного закрепления показан на рис. 55.

В положении «раскрепление» запорный стержень 5 посредством гидравлического толкателя (по стрелке) или путем поворота эксцентрика 4 перемещается в направлении резца 1. Шарики 2, свободно размещенные в выталкивателе 7, попадают в углубления запорного стержня и не препятствуют размещению хвостовика резца 1 в коническом отверстии резцедержателя 6.

Таблица 26

Конструкция переходника для крепления инструмента Coromant Capto в шпинделях с конусом HSK, мм



Конус шпинделя по DIN 69893 HSK-A	Код хвостовика Coromant Capto	D	D ₁	D ₂	l ₁	l ₂	l ₃
40	C3	32	40	30	20	65	45
50		32	50	38	25	75	49
63		32	63	48	32	75	49
80		32	80	60	40	80	54
100		32	100	75	50	80	51

Конус шпинделя по DIN 69893 HSK-A	Код хвостовика Soromant Capto	D	D_1	D_2	l_1	l_2	l_3
50	C4	40	50	38	25	80	54
63		40	63	48	32	80	54
80		40	80	60	40	90	64
100		40	100	75	50	90	61
63	C5	50	63	48	32	90	64
80		50	80	60	40	95	69
100		50	100	75	50	100	71
80	C6	63	80	60	40	110	84
100		63	100	75	50	110	81
100	C8	80	100	75	50	120	91

Для перехода в положение «закрепление» необходимо или повернуть эксцентрик 4 на 140° , или отвести гидравлический толкатель. Сила закрепления создается пакетом тарельчатых пружин 3. В результате запорный стержень 5 своими скосами выталкивает шарики 2 в отверстия диаметром d_5 (табл. 27). За счет наклона этих отверстий происходит подтяжка хвостовика резца 1 на торец резцедержателя 6. Окончательная сила закрепления определяется пакетом пружин 3.

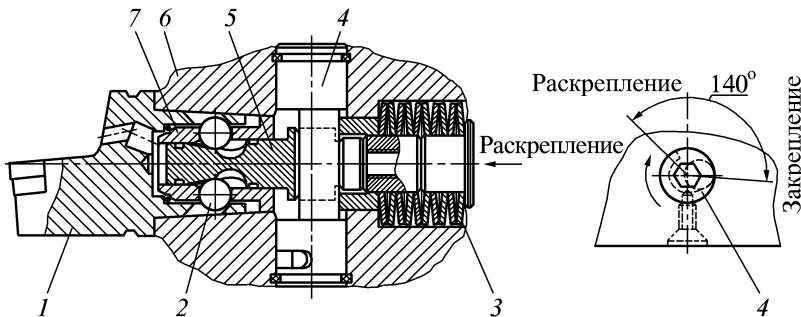
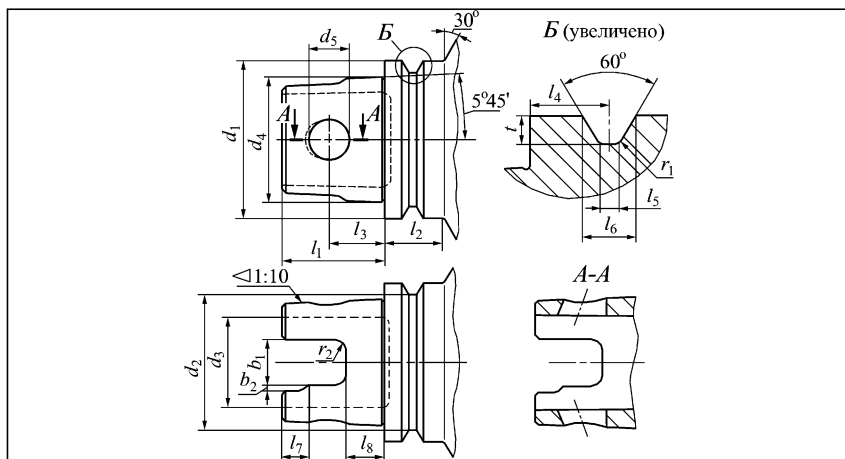


Рис. 55. Устройство quick lock для закрепления хвостовиков KM WIDAFLEX

Существенно важно, что хвостовик, имеющий прорез шириной b_1 (см. табл. 27), упруго деформируется, что гарантирует полный контакт по всем коническим поверхностям.

Таблица 27

Основные размеры, хвостовика «KM WIDAFLEX», мм



d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	l_1	l_2 , не более	l_3	$l_4 (\pm 0,1)$		
25	22,00	14,3	20	6,5	16	8	7,9	4,5		
32	26,96	17,7	24	7,5	20	10	10,8	4,9		
40	36,90	21,0	30	9,5	25	12	13,6	5,9		
50	42,70	28,2	40	12,5	32	16	17,2	8,9		
63	55,70	35,2	50	14,5	40	18	22,4	9,9		
80	72,70	48,0	64	18,0	45	20	25,0	11,0		
100	92,70	62,0	82	20,0	50	22	26,7	11,0		
d_1	l_5	l_6	l_7	l_8	b_1	b_2	t	r_1	r_2	
25	2,25	2,8	4,0	5,5	8,2	1,0	1,50	0,5	3,0	
32	2,25	2,8	4,8	8,0	9,0	1,5	1,50	0,5	3,0	
40	2,25	2,8	6,0	11,0	10,0	2,0	1,50	0,5	4,0	
50	3,75	5,8	8,5	12,0	14,0	2,0	3,65	1,0	4,0	
63	3,75	5,8	9,3	18,0	16,0	2,0	3,65	1,0	4,0	
80	3,75	5,8	10,0	18,5	20,0	2,5	3,65	1,0	6,0	
100	3,75	5,8	13,0	19,0	24,0	2,5	3,65	1,0	6,0	

Рассмотренные специальные конструкции хвостовиков Coromant Capto и KM WIDAFLEX предназначены для работы в самых различных условиях. На рис. 56 показаны характерные области нагрузок для чистовой (F), получистовой (M), легкой черновой (LR), черновой (R) и тяжелой черновой обработки (HR). Для обработки легированных сталей резцами с твердосплавной ромбической СМП с главным углом в плане $\varphi = 95^\circ$ максимальная сила резания P_y для хвостовика с размером 32 имеет значение (с запасом на ее рост по мере износа режущей кромки) порядка 8 кН и соответствует $t = 7,5$ мм и $S_0 = 0,5$ мм/об. Из рис. 56 следует, что инструмент с хвостовиком типоразмера 32 можно без ограничений использовать для чистовой (F) и получистовой (M) обработки. Для легкой черновой обработки (LR) этот инструмент применяется ограниченно.

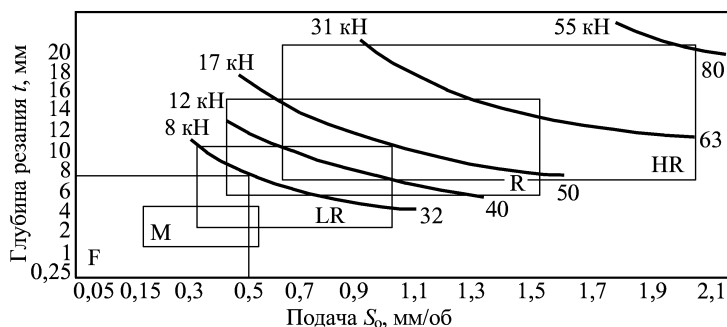


Рис. 56. Диапазоны режимов резания в пределах максимальной силы резания P_y в зависимости от размера специального хвостовика

На выбор режимов резания специальными конструкциями резцов влияет вылет инструмента из резцедержателя. На рис. 57 показано, как необходимо уменьшить площадь сечения среза ($t \times S_0$), если по условиям наладки необходим удлиненный инструмент.

Проводились сравнительные испытания резцов с хвостовиками Capto C5 и HSK 50-A на крутильную жесткость.

Измерялось перемещение Δ в точке вершины проходного резца (см. рис. 57 и табл. 24) с координатами $f_1 = 35$ мм и $l_1 = 60$ мм под действием статической силы, имитирующей составляющую P_y силы резания.

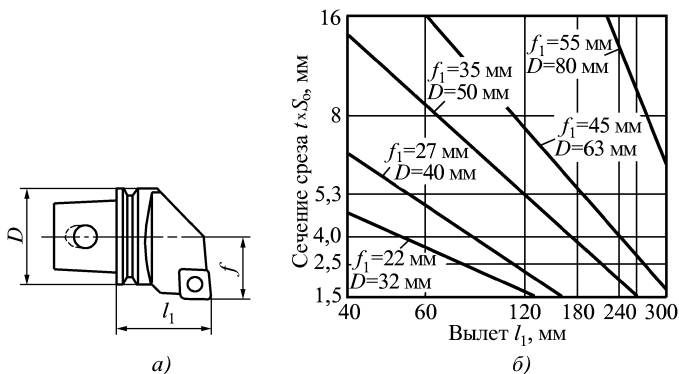


Рис. 57. Зависимость сечения среза $t \times S_0$ при точении специальными конструкциями резцов от их вылета L :
 а — резец; б — диаграмма зависимости

Испытания показали (рис. 58), что для резцов с хвостовиком HSK-A50 уже при силе $P_y = 6$ кН, характерной для средних режимов точения (зоны М и LR на рис. 56), начинается существенное падение крутильной жесткости. При значении $P_y = 17$ кН, максимально допускаемом для Coromant Capto C5, перемещение вершины резца с хвостовиком HSK-A50 в 4 раза больше, чем резца с хвостовиком Coromant Capto C5.

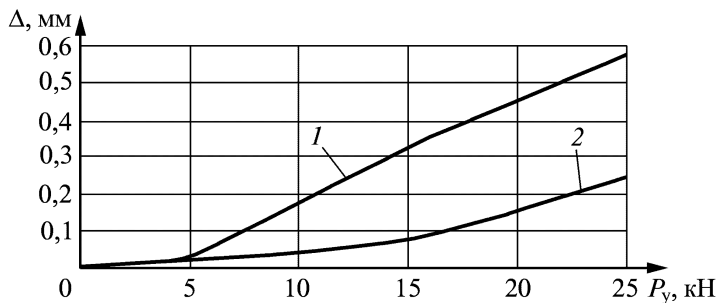
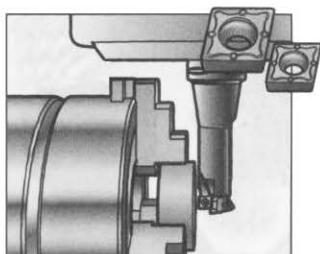
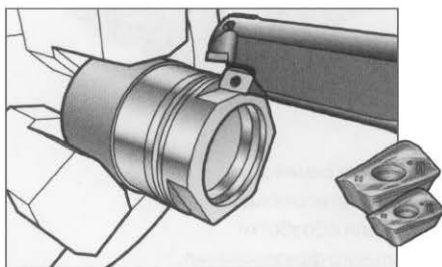


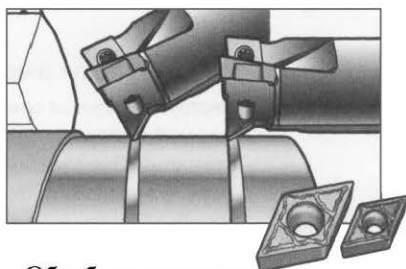
Рис. 58. Зависимость перемещения Δ вершины резца под действием силы резания P_y :
 1 — с хвостовиком HSK-A50; 2 — с хвостовиком «Capto C5»



Точение и подрезка торца

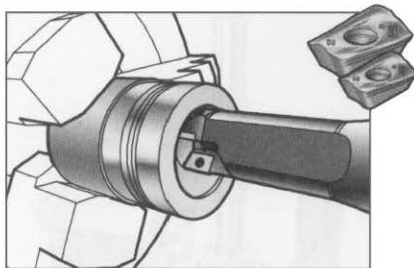


Фрезерование уступов и плоскостей



Обработка канавок

a)



Расфрезеровывание отверстий

б)

Рис. 59. Примеры применения многоцелевого инструмента CoroPlex MT:

a — для токарных операций; *б* — для фрезерных операций

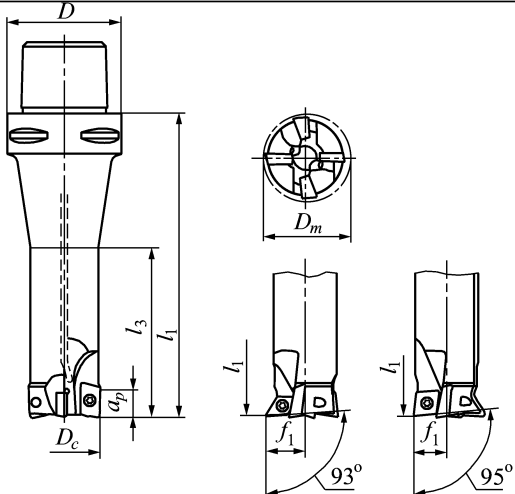
Это означает, что хвостовики HSK нецелесообразно применять для высокопроизводительного резания, оставив за ними область высокоскоростной обработки, для которой они и создавались.

Различные формы режущих кромок на одной державке позволяют значительно сократить время перемещения узлов станка, необходимое для смены инструментов, так как обеспечивают выполнение разных операций одним инструментом, ранее требовавших несколько инструментов, без необходимости его смены в магазине станка. Все это способствует резкому увеличению производительности. В качестве примера рассматривается многофункциональный токарно-фрезерный инструмент CoroPlex MT.

Две различные режущие пластины, попарно установленные на державке с хвостовиком Coromant Carpo, фирмы Sandvik Coromant позволяют использовать CoroPlex MT как токарный инструмент (рис. 59, а) и после поворота на 90° — как фрезерный (рис. 59, б). При этом токарный инструмент обеспечивает 4 токарных операции: точение, подрезку торцов, растачивание и прорезку канавок. Основные размеры CoroPlex MT приведены в табл. 28.

Таблица 28

Основные размеры, «CoroPlex MT», мм



Длина режущей кромки	Обозначение Carpo	D_c	Число зубьев	D_m , не менее	D	l_1	l_3	f_1	a_p
11	C5	32	2	—	50	130	78,5	—	10
9			1	35		129,3	77,8	15,4	8
7			1	35		128,9	77,4	15,4	6
11	C6	32	2	—	63	165	78,5	—	10
9			1	35		164,3	77,8	15,4	8
7			1	35		163,9	77,4	15,4	6
18	C6	40	2	—	63	165	90,1	—	17
12			1	43		164,4	89,5	19,0	11
11			1	43		163,9	89,0	19,2	10

Длина режущей кромки	Обозначение Carro	D_c	Число зубьев	D_m , не менее	D	l_1	l_3	f_1	a_p
18	C8	40	2	—	80	200	90,1	—	17
12			1	43		199,4	89,5	19,0	11
11			1	43		198,9	89,0	19,2	10

Примечание

Передний угол $\gamma = 0^\circ$; угол наклона режущей кромки $\lambda = -5^\circ$.

2.4. Специальные конструкции оснастки

Для повышения производительности за счет сокращения времени, затрачиваемого на базирование и закрепление заготовок, на станках с ЧПУ применяют специальный автоматически сменяемый вспомогательный инструмент, классификация которого приведена на рис. 60.

Угловая односторонняя головка с углом $\alpha = 45^\circ$ представлена на рис. 61. На хвостовике 1 размещена коническая шестерня 6, которая находится в зацеплении с шестерней 10, которая закреплена на шпинделе 8 с конусом Морзе 3. Закрепление инструмента в шпинделе 8 осуществляется путем вращения гайки 11 и осевого перемещения болта 12. Узел шпинделя 8 фиксируется в корпусе головки 5 крышкой 7 и проставкой 9. Необходимая жесткость головки достигается применением радиально-упорных подшипников, размещенных в стакане 4 и закрытых крышкой 3. Регулировка положения оси шпинделя 8 относительно шпоночных пазов хвостовика 1 осуществляется поворотом кольца 16 с размещенным в нем упором 14, который предназначен для соединения с позиционирующим блоком, расположенным на шпиндельной бабке. Во время входа хвостовика 1 в коническое отверстие шпинделя станка ползун 15 после контакта с позиционирующим блоком перемещается по упору 14, сжимая пружину 13. При этом поводок 17, размещенный в кольце 2, выходит из зацепления с ползуном 15; корпус 5 останавливается в заданном положении, а хвостовик 1, вращаясь, передает крутящий момент на шпиндель 8. По окончании работы шпиндель станка останавливается в определенном угловом положении. Пружина 13 выталкивает ползун 15, и в результате корпус 5 оказывается в необходимом исходном положении.

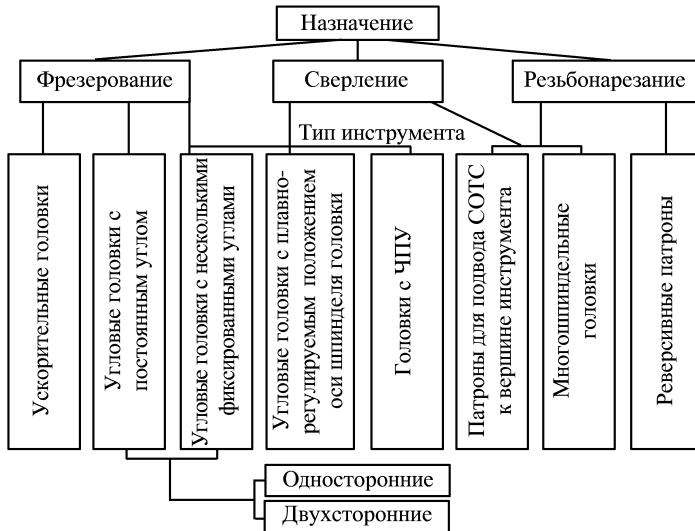


Рис. 60. Классификация специального вспомогательного инструмента

Повышение производительности может быть достигнуто применением многошпиндельных головок для концентрации переходов сверления и резьбонарезания.

Многошпиндельные головки имеют, как правило, два, три или четыре шпинделя, вращение которых осуществляется с той же частотой, что и вращение шпинделя с сохранением направления вращения. Основные размеры многошпиндельных головок показаны на рис. 62.

Во всех головках применяются сменные унифицированные цанги с размерами 1–16 мм и специальные быстросменные втулки с встроенными предохранительными муфтами для крепления метчиков для нарезания резьбы МЗ–М24.

Для автоматического закрепления головок в шпинделе станка необходимо его автоматическое присоединение к специальному стопорному блоку, расположенному на шпиндельной бабке, который выполняет функцию ориентирования головок по углу, передает крутящий момент для силовых головок, стыкует систему подачи СОТС станка с соответствующим инструментом, останавливает корончатое колесо планетарной передачи ускорительных головок и т.д.

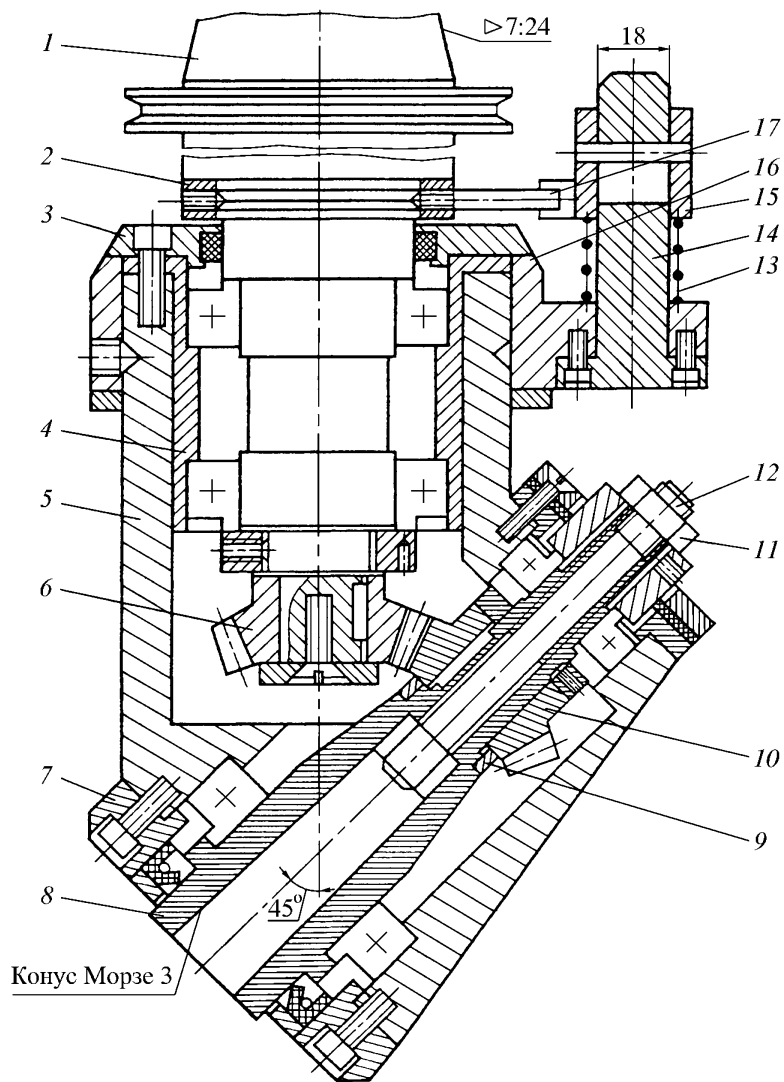


Рис. 61. Сменная угловая головка

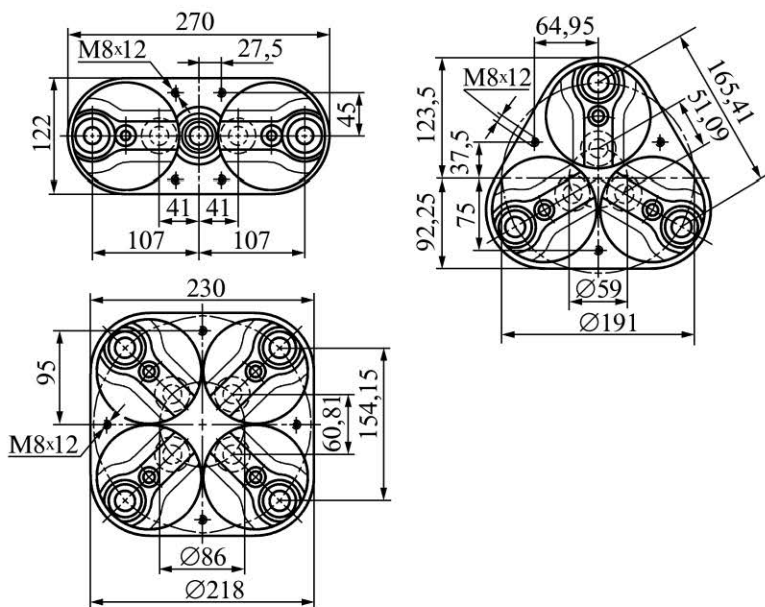


Рис. 62. Размеры многошпиндельных головок
(указаны минимальные и максимальные межосевые расстояния)

Блок 1 устанавливается на шпиндельной бабке 2 с помощью винтов и штифтов (рис. 63). Шпиндель 3 своими шпонками передает крутящий момент на первичный вал конической передачи фрезерной головки (см. рис. 61), а корпус головки с вторичным валом удерживается от вращения стопорным блоком через упор 14.

При автоматической смене патронов для подвода СОТС стопорный блок 1 имеет точное отверстие с уплотнением, куда на глубину не менее 6 мм входит трубка-упор 2 (рис. 64). Упор 2 должен не доходить до торца шпинделя на величину C_1 .

Расстояние A для различных моделей станков колеблется. У станков с конусом 40 в большинстве случаев $A = 65$ мм, а с конусом 50 – $A = 85$ мм. Размеры концов шпинделей для установки патронов с подводом СОТС приведены в табл. 29.

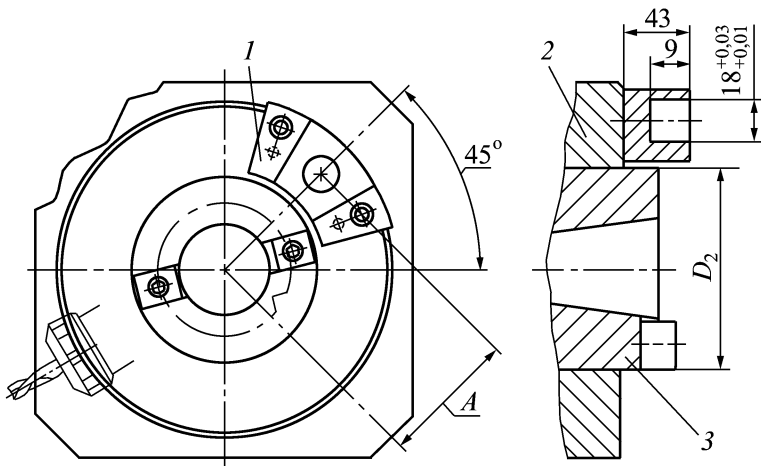


Рис. 63. Расположение стопорного блока для фрезерных головок
(размеры A и D_2 — см. табл. 29)

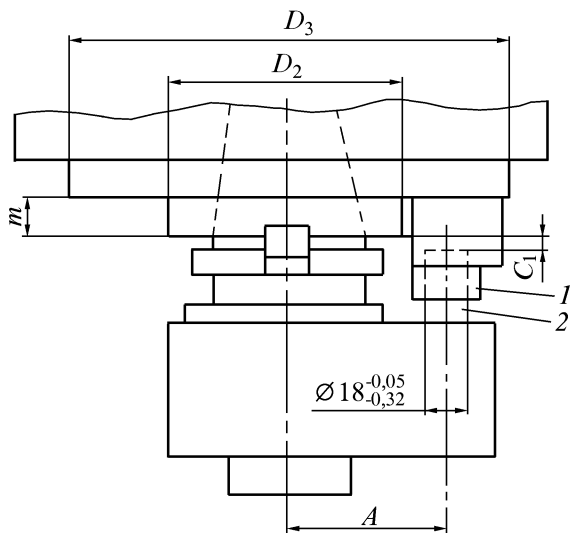


Рис. 64. Расположение стопорного блока для патронов
с подводом СОТС

**Присоединительные размеры концов шпинделей
для подвода СОТС, мм**

Конус 7:24	$A \pm 0,02$	D_2	D_3	m	C_1
40	65	93	170	16	5
45	80	107	200	18	3
50	85	133		19	2

Размеры стопорных блоков – см. рис. 65.

При высокопроизводительном резании важной является проблема оперативного отвода стружки для исключения ее повторного перерезания. Для фрезерования применяют устройства автоматического отвода стружки (рис. 66) с вакуумным отсосом. Особенностью является охлаждение масляным туманом.

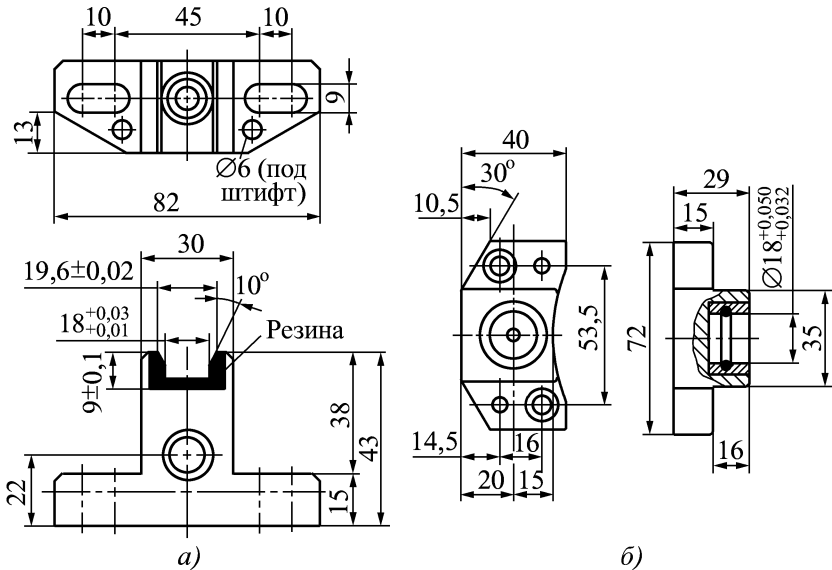


Рис. 65. Размеры стопорных блоков:
а — для головок; б — для патронов

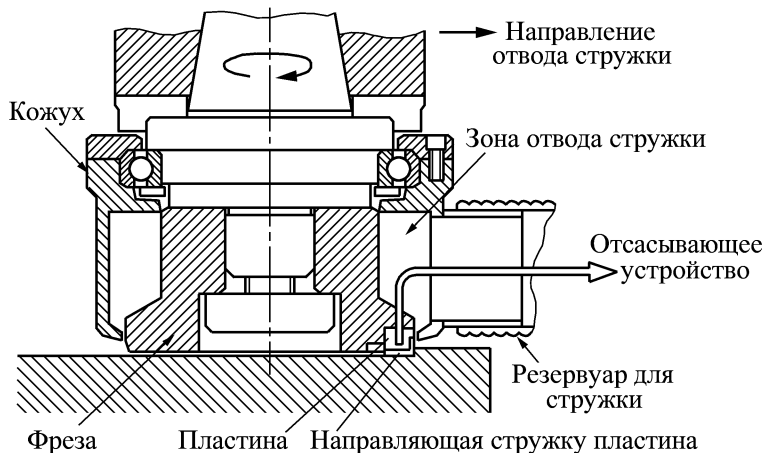


Рис. 66. Устройство автоматического отвода стружки при фрезеровании

При отсутствии вакуумного отсоса применяют специальные оправки, с помощью которых стружка отводится в сборник благодаря центробежной силе, создаваемой фрезой (рис. 67 и табл. 30).

Таблица 30

Основные размеры оправок с центробежным отводом стружки во время фрезерования, мм

D_1	Хвостовик оправки	D_2	D_3	D_4	D_5 , не более	l_1	l_2	a_p , не более	H_1	H_2	H_3
80	BT40	88	115	18	152	70	65	5,5	33,7	151	50
	BT50				182		80			154	
100	BT40	108	133		173	90	65			63	
	BT50				182		80				173
125			133		160	201					92,5

После сверления большого количества глухих отверстий, стружку из них удаляют с помощью специального устройства, подключаемого к промышленному пылесосу (рис. 68) через специальный разъем l . Подвод сменного наконечника 5 к детали осуществляется при подаче 4–6 м/мин.

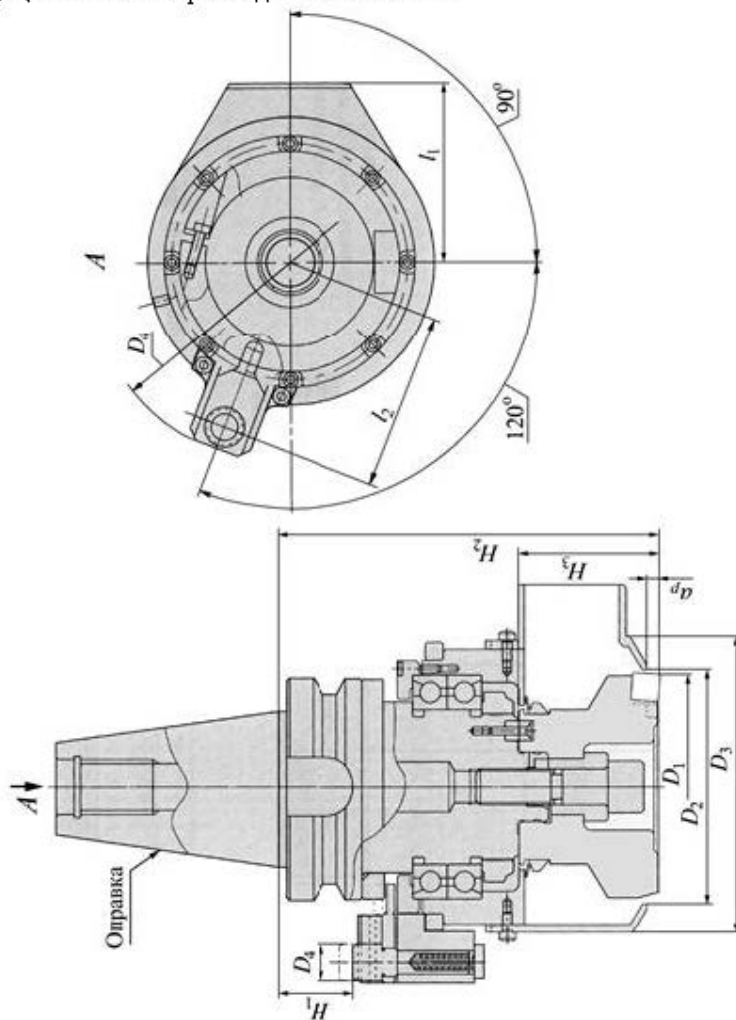


Рис. 67. Специальная оправка для торцовых фрез для центробежного отвода стружки

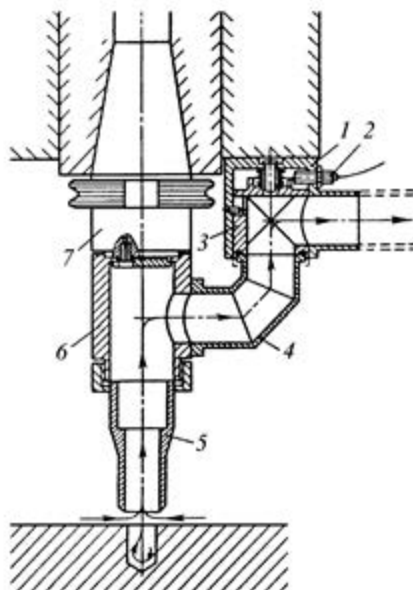


Рис. 68. Устройство для удаления стружки после сверления

После упора в деталь наконечника 5 стакан 6 перемещается относительно хвостовика 7 и через трубу 4 перемещает плунжер 3 разъема 1 до срабатывания конечного выключателя 2, который подает команды на прекращение подачи устройства отсоса к детали и на включение пылесоса.

ГЛАВА 3. ОСНАСТКА ДЛЯ ПОДАЧИ СОТС В ЗОНУ РЕЗАНИЯ

В решающей степени уменьшение теплообразования в зоне обработки, повышение работоспособности режущего инструмента и производительности обработки и улучшение качества поверхностного слоя обработанных деталей зависят от способов и техники подачи СОТС в рабочее пространство станка и непосредственно в зону обработки. Способ подачи СОТС характеризуется совокупностью признаков, определяющих условия транспортирования СОТС от устройства подачи к зоне контакта режущего инструмента с заготовкой (табл. 31).

Таблица 31

Способы подачи СОТС при обработке заготовок лезвийными инструментами

№	Способ подачи
1	Свободно падающей струей (поливом)
2	Под давлением через сопловые насадки (напорной струей)
3	В распыленном состоянии (в виде струи воздушно-жидкостной смеси)
4	Через каналы в инструменте с выходом в зону резания под давлением
5	Через каналы в инструменте без выхода в зону резания
6	Контактное смачивание
7	Периодическая подача на инструмент перед обработкой (в распыленном состоянии, из масленки и др.)

Из указанных способов контактное смачивание и периодическую подачу СОТС на инструмент применяют в единичных случаях.

Области применения остальных 5 способов приведены в табл. 32.

**Области применения способов подачи СОТС
при обработке лезвийными инструментами**

Операция	Способы подачи (номер по табл. 31)		
	предпочтительные	применяемые	ограниченно применяемые
Токарная обработка поверхностей:			
наружных	1; 2	3	4; 5
внутренних	1	3	2; 4; 5
Сверление, рассверливание, зенкование, развертывание	4	1; 3	2
Глубокое сверление	4; 2	–	–
Резьбонарезание:			
метчиками и плашками	4	1	–
фрезами	1	3	–
Фрезерование	1	3	2; 4
Зубонарезание	1	3	2
Протягивание	2; 4	1; 3	–

3.1. Устройства для открытой подачи СОТС

При подаче поливом СОТС направляют под давлением 0,02–0,03 МПа в зону контакта режущего клина лезвийного инструмента с заготовкой по передней или задней поверхности. При подаче СОТС на переднюю поверхность инструмента резко уменьшается ее температура, мало изменяется теплоотвод в заготовку и почти не меняется температура задней поверхности. При подаче СОТС на заднюю поверхность режущего инструмента снижается температура как на его задней, так и на передней поверхности, но не так эффективно, как при подаче СОТС на переднюю поверхность. При одинаковых условиях теплоотдачи подача СОТС сверху на переднюю поверхность инструмента в 1,6–2 раза эффективнее подачи жидкости на его заднюю поверхность. Эффективность подачи СОТС поливом также зависит от размеров, формы и траектории струи.

Некоторые часто применяемые конструкции сопел показаны на рис. 69. В зависимости от условий обработки формируют струи круглого (при точении, сверлении, развертывании и др.) или прямоугольного (при фрезеровании, зубофрезеровании и зубодолблении, точении и др.) сечения. Для сложных инструментов и многоинструментальной обработки осуществляют многоканальную подачу СОТС. В любом случае струя жидкости должна перекрывать всю зону контакта инструмента с заготовкой (табл. 33). Подвод СОТС должен быть непрерывным: в первую очередь на нагретые участки инструмента, а затем на стружку и заготовку.

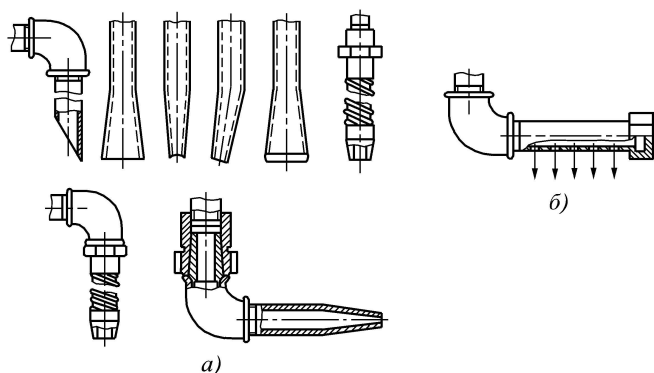


Рис. 69. Сопловые насадки для подачи СОТС поливом:
а — одноканальные; *б* — многоканальные

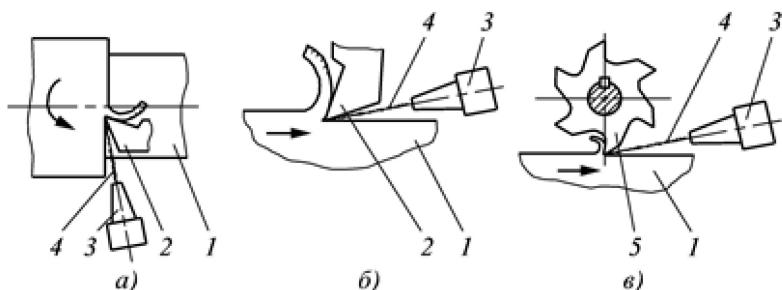


Рис. 70. Схемы подачи СОТС струйно-напорным способом:
а — точение; *б* — строгание; *в* — фрезерование;
1 — обрабатываемая заготовка; *2* — резец; *3* — сопло;
4 — СОТС; *5* — фреза

**Нормы расхода и направление струи СОТС,
подаваемой поливом**

Вид обработки	Тип СОТС *	Расход СОТС, л/мин	Направление струи СОТС
Точение:			
черновое	В	10–20	Сверху на снимаемую стружку в месте отделения ее резцом
чистовое	М В	7–8 8–15	
Сверление	В	4–16	Вдоль по оси отверстия
Зенкерование	В	5–15	
	М	5–10	
Развертывание	В	6–10	
	М	4–6	
Нарезание резьбы метчиками и плашками	М	2–3	Сверху на режущие кромки метчика, на заготовку впереди плашки
Резьбофрезерование		4–6	Сверху на зубья фрезы в зону резания плоской струей, омывающей фрезу по всей длине
Фрезерование:			
черновое	В	7–30	Сверху плоской струей, омывающей фрезу по всей длине
чистовое	М	10–30	
Зубообработка	М	8–30	На инструмент плоской струей, омывающей активную часть инструмента
Протягивание поверхностей:	–	–	–
внутренних	В, М	8–15	Одновременно в зону входа протяжки в заготовку и выхода из заготовки
наружных	М, В	10–25	Сверху или сбоку в зону обработки

* В и М — соответственно водная или масляная СОТС.

Подача СОТС напорной струей применяется с целью увеличения расхода СОТС через зону обработки и вымывания из этой зоны стружки. Разновидностью такой подачи СОТС под давлением является струйно-напорный способ: тонкую струю направляют в зону контакта режущей кромки инструмента с обрабатываемой заготовкой со стороны задней грани лезвия (рис. 70). Различают подачу СОТС высоконапорной струей под давлением не менее 1,5 МПа через сопла с выходными отверстиями диаметром до 0,8 мм и низконапорной струей под давлением 0,05–0,20 МПа через сопла с отверстиями диаметром 2–5 мм. Струю жидкости располагают строго в плоскости резания на расстоянии $\sim 1/3$ глубины резания от вершины режущей кромки. Наилучшие показатели обработки обеспечиваются при скорости струи 40–60 м/с и толщине потока жидкости 0,015–0,018 мм.

При большой длине оmyваемой части режущей кромки применяют сопла со щелевидными выходными отверстиями. Расстояние от выходного отверстия сопла до режущей кромки в вертикальном направлении должно быть минимально возможным, но в любом случае не более 80–120 мм.

Подачу СОТС высоконапорной струей комбинируют иногда с поливом со стороны стружки и передней грани резца. При этом стойкость режущего инструмента повышается на 20–25 % по сравнению с применением только напорной струи.

Высоконапорная подача водной СОТС (под давлением 70–380 МПа) в зону контакта стружки с передней поверхностью лезвия резца (диаметр сопла 0,135–0,35 мм, расход СОТС 2,25–3,7 л/мин) обеспечивает повышение производительности обработки до 10 раз и более, а также улучшает дробление стружки.

Подача СОТС в распыленном состоянии получила распространение в связи с ужесточением экологических требований. Для реализации этого способа станки оснащают установками, в которых образуется воздушно-жидкостная смесь, и соплами для формирования и направления в зону резания струи

этой смеси (рис. 71). Преимуществом способа является весьма малый расход СОТС: до 10 г/мин водной и 0,1 г/мин масляной, что исключает необходимость сбора, очистки и разложения отработавшей СОТС в отличие от других способов. Это существенно отражается на уменьшении доли затрат на СОТС в себестоимости продукции. Этот способ рекомендуется на операциях, при которых по тем или иным причинам подача СОТС другими способами невозможна (табл. 34). По сравнению с «сухой» обработкой при подаче распыленных СОТС стойкость режущего инструмента повышается до 2 раз, уменьшаются шероховатость обработанной поверхности и температурные деформации заготовок.

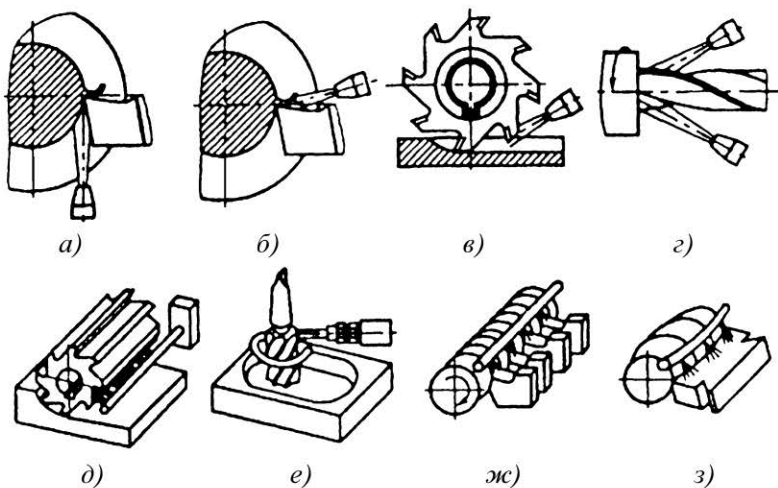


Рис. 71. Схемы установки одноканальных (а-г) и многоканальных (д-з) сопел для подачи распыленных СОТС

На станках с ЧПУ для резьбонарезания применяют периодическую подачу масляных СОТС из специальных масленок-дозаторов.

Дозатор для подачи масляной СОТС (рис. 72) позволяет ввести масло в отверстие или в другие зоны, которые требуют смазки и где СОТС, имеющаяся на станке, не пригодна для этих

механических операций. Вместительность дозатора составляет 400, 600 и 800 см³, а доза масла может регулироваться от 0 до 2 см³.

Таблица 34

Рекомендации по применению распыленных СОТС

Вид обработки	Масло И-20А (И-12А)		1,5%-ная эмульсия	
	Инструмент			
	быстро- режу- щий	твёрдо- сплав- ный	быстро- режущий	твёрдо- сплав- ный
Точение (на токарных и карусельных станках с ЧПУ)	4	1; 3; 4	1–4; 6	2–6
Фрезерование (на фрезерных станках, станках с ЧПУ, многоцелевых станках)	4	3; 4	1–4; 6	1–3; 6
Строгание (на строгальных станках)	–	1	1; 2	2
Сверление, зенкерование, развертывание, резбонарезание (на агрегатных станках и станках с ЧПУ)	1; 4	1; 3; 4	1; 3; 4; 6	3
Вихревое резбонарезание*	–			1
Обработка лезвийными инструментами сверхтвёрдых материалов	1; 5		–	

* Эффективен комбинированный способ одновременной подачи в зону резания распыленного масла и эмульсии.

Примечание

Обозначения материала заготовки: 1 — стали; 2 — чугуны; 3 — коррозионно-стойкие стали и жаропрочные сплавы; 4 — цветные металлы; 5 — алюминий и сплавы на его основе; 6 — пластмассы и органическое стекло

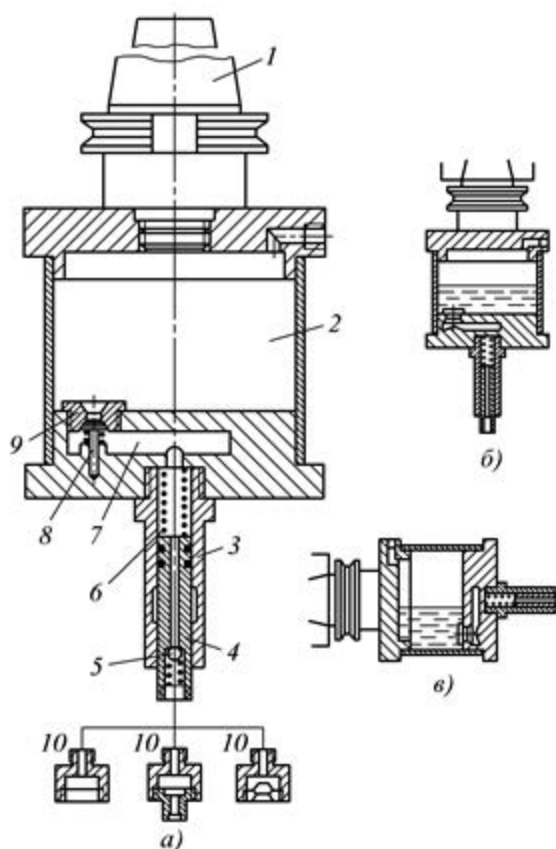


Рис. 72. Дозатор для подачи
масляной СОТС

Дозатор (рис. 72, а) состоит из хвостовика 1 для установки в шпинделе станка, который соединяется с емкостью 2. В емкости 2 установлен перепускной клапан 9 с запорной иглой 8, который функционирует как в вертикальном (рис. 72, б) положении, так и в горизонтальном (рис. 72, в) положении, однако в последнем случае необходима ориентация дозатора по углу вращения шпинделя. Из камеры 7 масло поступает в наконечник 3, в котором находится плунжер 4 с шариковым клапаном 5. При наличии масла в камере 7 дозатор со скоростью 4–6 м³/мин

приближается к детали до упора форсункой 10. При этом плунжер 4 перемещается в наконечнике 3, создавая давление в камере 7. При таком давлении срабатывает шариковый клапан 5 и порция масла выбрасывается в зону предстоящей обработки. Сменные привертные форсунки 10 имеют различную форму впрыска СОТС для достижения наилучшего эффекта.

После впрыска дозатор отводится от детали и плунжер 4 под действием пружины 6 возвращается в исходное положение, работая при этом как поршень насоса. В камере 7 создается разрежение, клапан 8 открывается и камера 7 заполняется. Количество масла определяется величиной хода плунжера 3. При максимальном ходе 15 мм обеспечивается подача 2 см³ масла.

На токарных станках с ЧПУ, в том числе с автоматической сменой инструмента для подачи СОТС напорной струей применяют регулируемые сопла в виде шариков, встроенных в державки стандартных резцов (рис. 73, а) и в резцовые головки со специальными хвостовиками (рис. 73, б).

Основные размеры встраиваемых сопел приведены в табл. 35.

Таблица 35

Основные размеры встраиваемых сопел, мм

	<i>d</i>	<i>d</i> ₁	I	M	$\alpha, ^\circ$
		6	3	5	2,5
	8	5	6,5	3,5	
	10		8	4	
	12	7	9	5	40
	14	9	11	6	

Примечание

Угол α характеризует диапазон регулировки положения шарика 1 в корпусе 2.

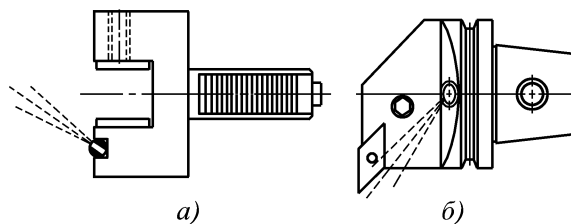


Рис. 73. Подача СОТС напорной струей через встроенные регулируемые сопла

3.2. Оснастка для подвода СОТС по внутренним каналам инструмента

Подача СОТС через каналы в инструменте получила широкое распространение главным образом при обработке отверстий осевым инструментом (сверлами, зенкерами, развертками, протяжками, метчиками) и фрезами, оснащенными дополнительными каналами, в условиях автоматизированного производства. Применение этого способа обеспечивает не только подачу СОТС в зону резания, но и удаление стружки.

Характеристики подачи СОТС через каналы в инструменте приведены в табл. 36.

Таблица 36

Характеристики подачи СОТС по каналам в инструменте

Вид обработки	Давление, МПа	Расход, л/мин
Сверление	0,2–0,5	10–20
Глубокое сверление	до 10	до 200
Сверление кольцевыми сверлами	0,8–5	20–1200
Развертывание	0,2–0,5	10–15
Зенкерование	0,2–0,5	10–20
Резьбонарезание метчиками	0,2–0,3	5–10
Протягивание	0,3–1	10–50

Для подвода СОТС к режущим кромкам вращающихся сверл, оснащенных твердосплавными пластинами, разработаны специальные патроны, конструкция которых позволяет осуществлять их автоматическую смену на станках с ЧПУ с автоматической стыковкой с системой подачи СОТС станка (см. рис. 64 и табл. 29).

Патрон устроен следующим образом (рис. 74). Хвостовик *1* с конусом 7:24 имеет в передней части цилиндрическое отверстие диаметром *d*, в котором винтами *10* может закрепляться инструмент с цилиндрическим хвостовиком.

На хвостовике патрона запорным кольцом *9* закрепляется корпус *5*, в котором размещены подшпипники *8*, прокладки *6* и *7*, и упор *2* в сборе с устройством, обеспечивающим его подпружиненный ход.

После закрепления хвостовика *1* в шпинделе станка упор *2* входит в позиционирующий блок станка и соединяется с каналом СОТС. Под давлением 0,3 МПа СОТС поступает в отверстие упора *2* и открывает шариковый клапан, состоящий из пружины *3* и шарика *4*. Через отверстие в упоре *2* и отверстие в корпусе *5* СОТС подводится к полости корпуса в отверстие в хвостовике *1*, откуда поступает в хвостовик сверла и затем по каналам в корпусе сверла к режущим кромкам.

После включения вращения шпинделя хвостовик *1* вращается совместно с ним, а корпус *5*, остановленный упором *2*, остается в постоянном положении относительно бабки станка. Для повышения надежности патрона введены подшпипники качения *8*. Их защита от СОТС обеспечивается прокладками *6* и *7* из тефлона.

Патрон для крепления эжекторных сверл (рис. 75) позволяет выполнять на токарных станках скоростное сверление глубоких отверстий с отводом стружки через отверстие внутренней трубы. Наружный стержень *2* устройства закреплен гайкой *7* в корпусе *4*. Корпус хвостовиком *5* устанавливается в отверстии пиноли задней бабки или специальной стойки, связанных с суппортом для обеспечения машинной подачи сверлу *1*. Полое сверло, закрепленное резьбовым хвостовиком в наружном стержне, имеет внутри коническую насадку *8*, которая с конусом соосной внутренней трубы *3* образует эжекторный (струйный) насос.

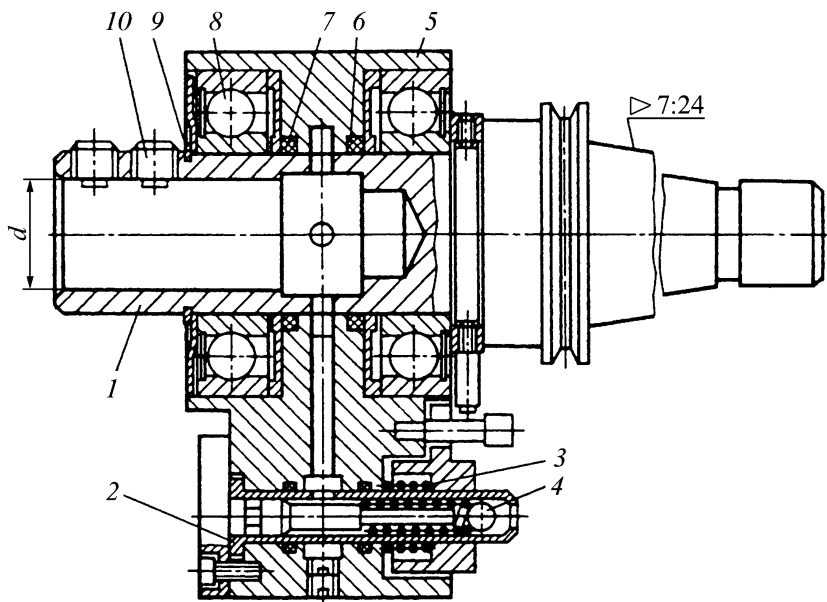


Рис. 74. Патрон для подвода СОТС к вращающемуся инструменту

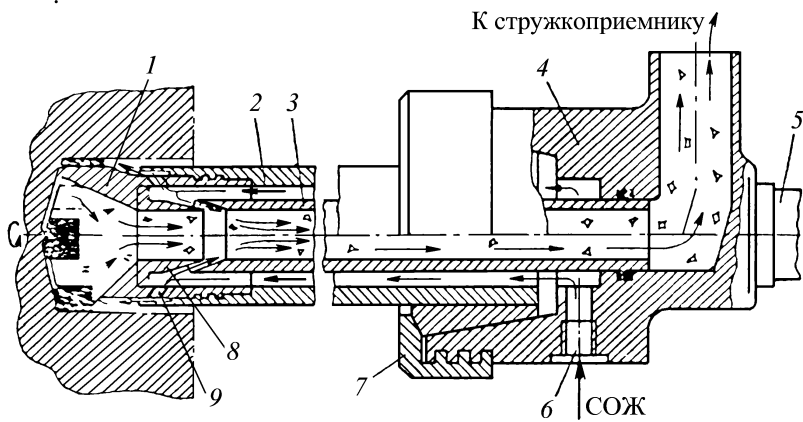


Рис. 75. Схема патрона для подвода СОТС к эжекторным сверлам

СОТС, которая подается от насосной станции станка через патрубок 6 и зазор между наружным стеблем 2 и внутренней трубой 3, в зоне струйного насоса разделяется на два потока. Один поток, пройдя отверстия 9 в корпусе сверла, подается в зону резания, а второй обеспечивает работу струйного насоса, создающего отсос СОТС вместе со стружкой из зоны резания и транспортирование стружки по отверстию внутренней трубы в стружкоприемник. В патроне используется лабиринтное кольцевое уплотнение, что позволяет подавать СОТС с давлением до 8 МПа.

На станках с ЧПУ с подачей СОТС через центральные отверстия шпинделей с внутренними конусами 7:24 применяют полые болты («захватные болты»), которые служат для затягивания хвостовика инструмента в шпинделе (табл. 37). Конфигурация хвостовика показана на рис. 76.

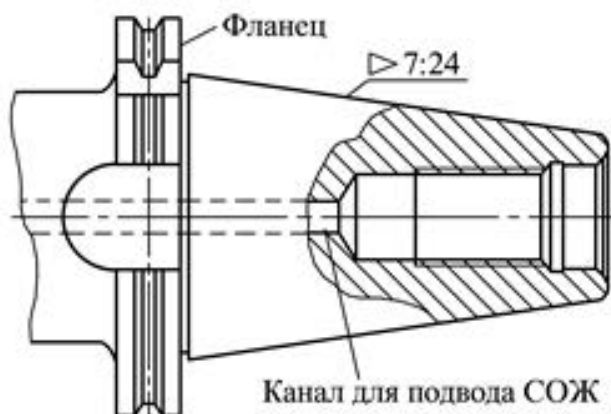
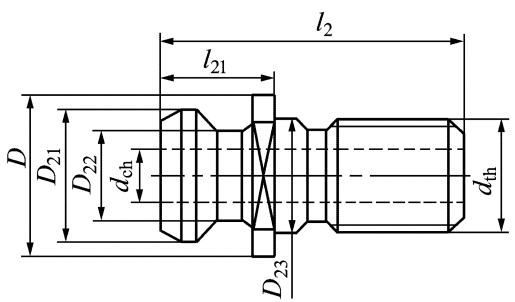


Рис. 76. Хвостовик инструмента с конусом 7:24

Для подачи СОТС через шпиндели с конусами 7:24 во фланцах хвостовиков инструмента просверливают специальные каналы (табл. 38).

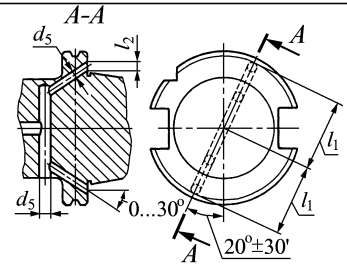
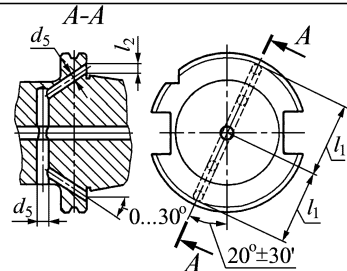
**«Захватные болты» для хвостовиков инструмента
по ИСО 7388/2, мм**



Тип болта	Конус 7:24	D_{21}	D_{22}	D_{23}	D_1	d_{ch}	l_2	l_{21}	d_{th}
А	40	19	14	17	23	7	54	26	M16
	50	28	21	25	36	11,5	74	34	M24
В	40	18,85	12,95	17	22,5	7,35	44,5	16,4	M16
	50	29,1	19,6	25	37	11,5	65,5	25,55	M24

Таблица 38

Размеры каналов для подвода СОТС в хвостовиках инструмента по DIN 69871, мм

С подачей СОТС через фланец	С подачей СОТС через фланец или сквозное отверстие в хвостовике
	

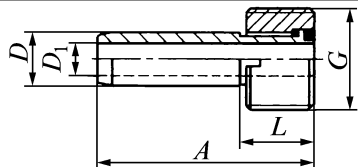
Окончание табл. 38

Конус 7:24	$l_1 \pm 0,1$	l_2 , не более	d_s
30	21	5	4
40	27	5	4
45	35	6	5
50	42	7	6

Подача СОТС через хвостовики HSK осуществляется с помощью специальных трубок, устанавливаемых в резьбовые отверстия хвостовиков (рис. 77). Размеры трубок приведены в табл. 39, а ключи для их установки — в табл. 40.

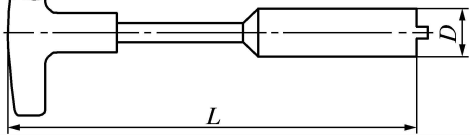
Таблица 39

Трубки для подвода СОТС от шпинделя внутрь инструмента с полыми хвостовиками HSK, мм

Обозначение HSK					
	G	$D, h5$	D_1	A	L
50	M16×1	10	6,4	35,0	9,5
63	M18×1	12	8,0	38,5	11,5
100	M24×1,5	16	12,0	46,5	15,5

Пример подачи СОТС путем комбинации способа подвода по внутренним каналам через хвостовик HSK и способа подачи напорной струей через сопловую насадку специальной оправки показан на рис. 78.

**Ключи для установки трубок для подвода СОТС
в хвостовики HSK, мм**

		
Обозначение HSK	D	L
50	15	150
63	17	152
100	22	158

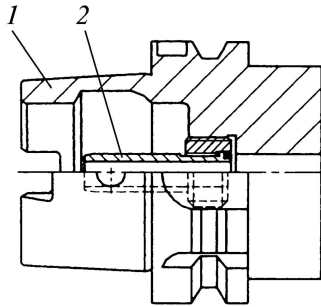


Рис. 77. Трубки подвода СОТС через хвостовик HSK:
1 — хвостовик; 2 — трубка

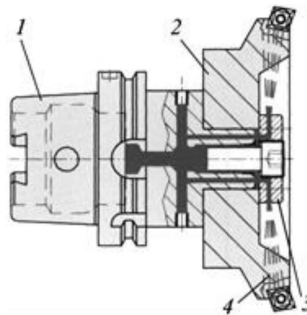


Рис. 78. Подача СОТС к режущим пластинам торцевой фрезы:
1 — оправка с хвостовиком HSK;
2 — фреза; 3 — сопловая насадка-шайба; 4 — струя СОТС

3.3. Оснастка для резания с ограниченной подачей СОТС

Метод обработки резанием, основанный на использовании минимальных количеств СОТС, подаваемой непосредственно к режущим кромкам инструмента позволяет в значительной мере уменьшить ее расход. С уменьшением расхода СОТС достигаются многие преимущества: улучшается экологическая обстановка на предприятии; облегчается переработка стружки; уменьшается расход электроэнергии; в ряде случаев возрастает срок службы инструмента; уменьшаются эксплуатационные расходы, в том числе расходы, связанные с устранением загрязнений со стороны СОТС.

За рубежом этот метод сокращенно называется MMS (Minimal Mengen Schmierung). По методу MMS в зону резания обычно вводится от 5 до 50 см³ смазочного вещества в час (при глубоком сверлении — до 120 см³/ч), что во многих случаях обработки позволяет устранить отмеченные выше недостатки «сухого» резания, практически обеспечить режимы и параметры обработки, сопоставимые с результатами при обильной подаче СОТС, а в ряде случаев — даже превзойти их. Метод MMS обычно применяется при высокоскоростной обработке, когда смазочное вещество испаряется от высокой температуры, так что обрабатываемая деталь, инструмент и стружка остаются сухими.

Основные компоненты метода MMS показаны на рис. 79.

Проблемы, возникающие при использовании MMS, заключаются в следующем.

1. Затрудняются удаление и транспортировка стружки из рабочего объема станка (ранее это было функцией СОТС).
2. Для каждого инструмента необходима конкретная дозировка малых количеств СОТС и его доставка непосредственно в место отделения стружки.

Для дозировки смазочного материала обычно используются поршневые дозирующие насосы, впрыскивающие в воздушный поток определенное количество смазки, пропорциональное длине хода и частоте движения поршня, которые уточ-

няются экспериментально и, как правило, управляются устройством ЧПУ. Дозирующий насос обеспечивает доставку СОТС с точностью до $5 \text{ см}^3/\text{ч}$. Доставка смазочного материала непосредственно в место отделения стружки осуществляется струей воздуха, образующей аэрозоль, которая поступает путем или внешнего, или внутреннего подвода. Известен способ дозирования путем изменения сечения трубки, всасывающей масло, за счет чего регулируется количество СОТС, увлекаемое воздушным потоком.

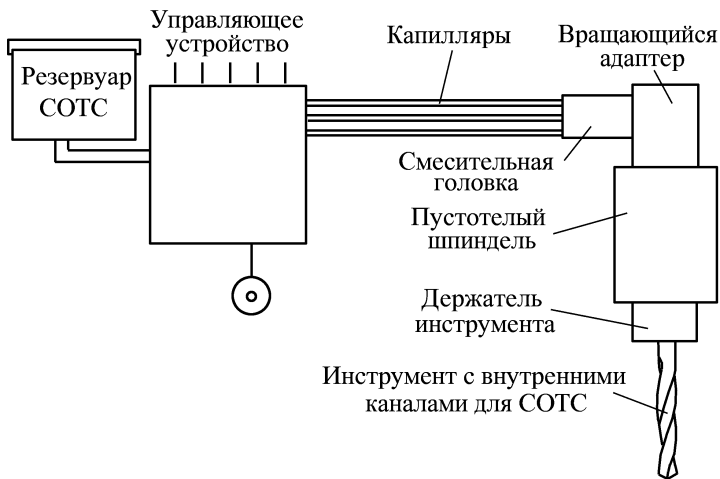


Рис. 79. Основные компоненты метода MMS для инструментов с внутренними каналами для подвода СОТС

Внешний подвод осуществляется регулируемыми по положению соплами. Этот метод конструктивно прост, не требует модернизации шпиндельного устройства и может быть легко применен практически на каждом станке. Учитывая малое количество подаваемого смазочного материала сопла необходимо точно направлять струю аэрозоля к месту контакта режущих кромок инструмента с заготовкой, что требует регулировки их положения при изменении типа или длины инструмента. Этот метод подвода MMS неприменим при глубоком сверлении, не-

эффективен при фрезеровании внутренних полостей деталей, глубоких карманов и других труднодоступных поверхностей. Практически он используется на станках с редкой сменой инструментов при обработке простых открытых поверхностей и неприменим на многооперационных станках. При внешнем подводе рекомендуется использование в составе аэрозоля сравнительно крупных капель смазочного вещества с размерами от 3 до 30 мкм.

На рис. 80 показаны устройства для дозированного внешнего подвода СОТС.

На магнитной стойке 1 укреплен воздушный трубопровод 2, в который подается СОТС или из автономного бачка 5 (емкостью несколько литров), или из бачка 4, установленного непосредственно на трубопроводе. СОТС выбрасывается из трубопровода сжатым воздухом 7 с давлением 0,3–0,9 МПа. Количество выбрасываемого СОТС регулируется установочным винтом, а ее периодичность осуществляется либо вручную с помощью механического клапана 8, либо автоматически с помощью генератора 6. При этом СОТС может выбрасываться в виде капель (рис. 80, а) или в виде распыленной струи (в случае использования дополнительного штуцера 3) (рис. 80, б). Кроме того, в случае использования двух автономных устройств данная конструкция может осуществлять очистку сжатым воздухом рабочего пространства (рис. 80, в).

Внутренний подвод смазочного материала значительно эффективнее внешнего подвода и используется на всех известных в настоящее время обрабатывающих центрах, рассчитанных на MMS. На рис. 81 представлен патрон с масляным резервуаром, позволяющий реализовать внутренний подвод СОТС в соответствии с методом MMS. Масляный резервуар рассчитан на 8 ч работы. Этот метод подвода связан с некоторыми эксплуатационными трудностями.

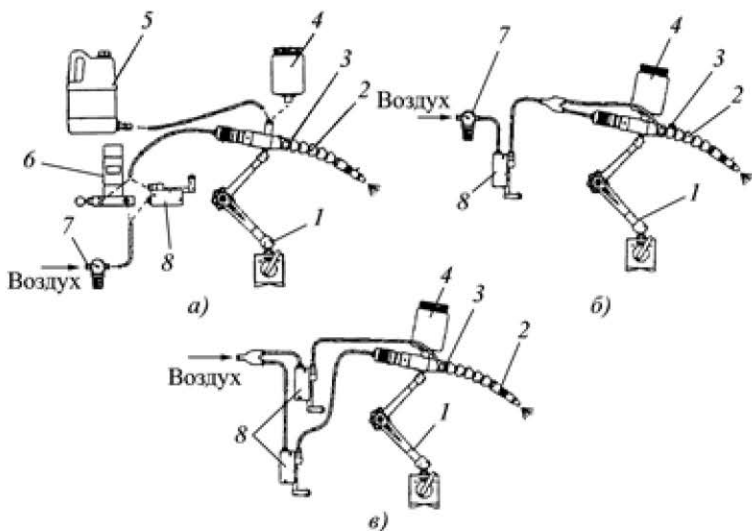


Рис. 80. Модификации устройства для дозированного подвода СО₂:
 1 — стойка; 2 — трубопровод; 3 — штуцер; 4 — бачок;
 5 — дополнительный бак; 6 — дозирующее устройство;
 7 — редуктор; 8 — клапан-регулятор

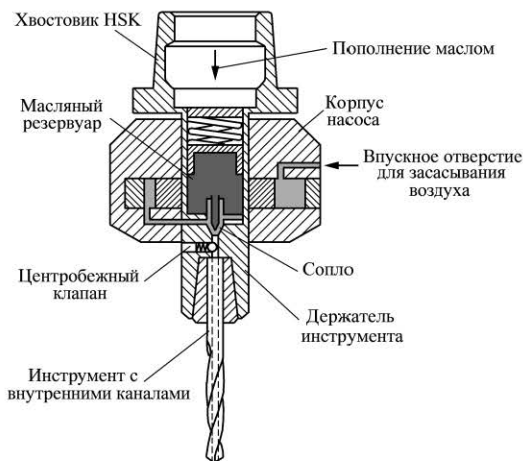


Рис. 81. Патрон с резервуаром для СО₂ на 8 ч работы методом MMS

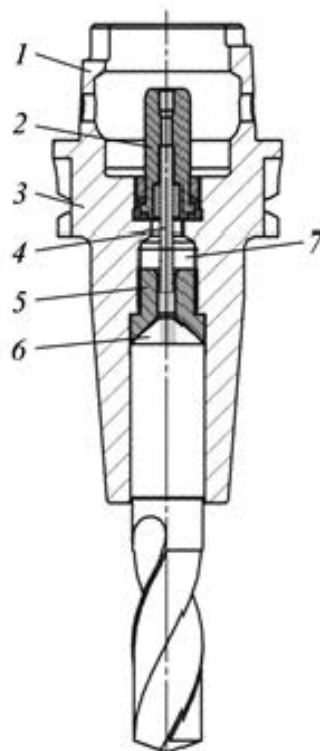


Рис. 82. Устройство подвода СОТС по методу MMS:

- 1 — хвостовик HSK; 2 — трубка MMS;
- 3 — патрон для «термозажима» инструмента;
- 4 — тонкостенная коррозионно-стойкая трубка;
- 5 — винт регулировки длины;
- 6 — коническая фаска на хвостовике инструмента;
- 7 — «паразитное» пространство

Подвод смазочного материала осуществляется через вращающийся шпиндель и автоматически сменяемый специальный инструмент, который имеет каналы для подвода СОТС по методу MMS к режущим кромкам. На современных станках с частотой вращения шпинделя $10\ 000\text{--}12\ 000\ \text{мин}^{-1}$ в особенности на высокоскоростных, где эти частоты достигают $20\ 000\text{--}$

30 000 мин⁻¹, возникает опасность расслоения аэрозоля под воздействием центробежных сил с оседанием частиц смазки на стенках каналов. Поэтому особое внимание уделяется оптимальной подаче СОТС через хвостовик инструмента.

Разработана система подачи СОТС, специально приспособленная для ММС. При этом важна геометрическая форма цилиндрического хвостовика режущего инструмента, так как от нее также зависит надежность подачи СОТС.

В ходе проведения большого количества экспериментов с хвостовиками различной геометрии найдена оптимальная форма цилиндрического хвостовика с конической фаской на торце, который имеет ряд преимуществ при использовании метода ММС:

- а) отсутствуют завихрения в потоке СОТС;
- б) минимальный объем «паразитного» пространства;
- в) простота обслуживания;
- г) недорогое производство.

Также проведен детальный анализ динамики подачи СОТС. В результате разработана новая система подачи СОТС с цельной приемной трубкой (устойчивой к коррозии) и винтом регулирования ММС (рис. 82).

Монтаж устройства для подачи СОТС по методу ММС показан на рис. 83, а основные размеры трубки ММС для коротких патронов с «термозажимом» — в табл. 41.

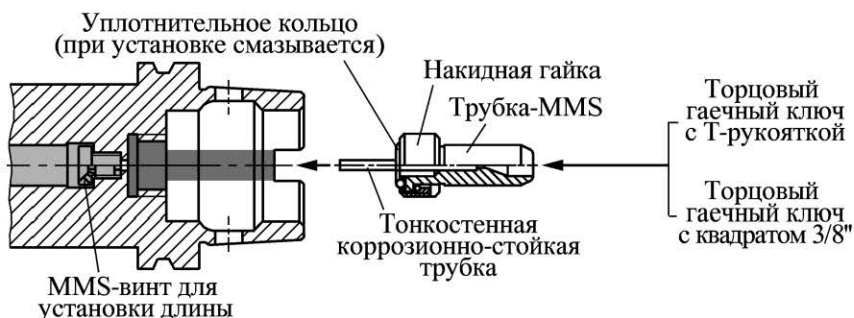
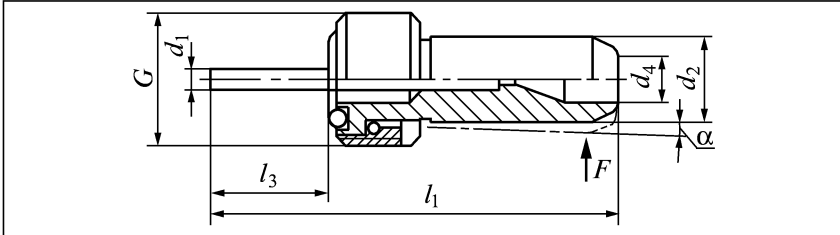


Рис. 83. Монтаж патрона для работы по методу ММС

Основные размеры трубки MMS, мм



Обозначение HSK	d_1	d_2	d_4	l_1	l_3	G	α, \circ	$F, \text{Н}$
50	2,5	10	4,0	55,4	22,7	M16 × 1	1,3	6
63		12		56,7	20,5	M18 × 1		
100		16		63,9	20,1	M24 × 1,5	1,4	7

Основными требованиями к монтажу устройств для подачи СОТС по методу MMS являются:

а) приемное отверстие в хвостовике HSK должно быть чистым и свободным от стружек и дефектов;

б) уплотнительное кольцо предварительно смазывается;

в) устройство для подвода СОТС (трубка MMS, накидная гайка и два уплотнительных кольца) при помощи торцевого ключа устанавливается по центру патрона с хвостовиком HSK (см. рис. 83);

г) при установке устройства для подачи СОТС по методу MMS обязательно обратить внимание на то, чтобы тонкостенная трубка устанавливалась по центру в винт регулировки длины и не имела дефектов (не отгибалась);

д) трубка MMS вворачивается и затягивается с определенным моментом затяжки;

е) трубка, подводящая СОТС, проверяется на качание под действием силы F в пределах угла α (см. табл. 41).

На станках, не разработанных специально для MMS, удаление стружки с обрабатываемой детали и узлов станка и ее перемещение в сборник или транспортер осуществляется вакуумным отсосом.

На рис. 84 показано устройство для удаления стружки при сверлении, которое работает следующим образом. Кожух 1 с помощью регулировочного винта устанавливается на определенное расстояние от обрабатываемой заготовки. Если расстояние между кожухом и заготовкой уменьшается, то из-за разницы давлений снаружи и внутри кожуха последний перемещается от заготовки. В случае увеличения расстояния между кожухом и заготовкой кожух перемещается в сторону заготовки под действием пружины 2. Таким образом, зазор между кожухом и обрабатываемой заготовкой поддерживается постоянным автоматически. В процессе резания образующаяся стружка засасывается в накопитель. В накопителе стружка попадает в сепаратор, отделяющий СОТС, после чего стружка собирается в бункере.

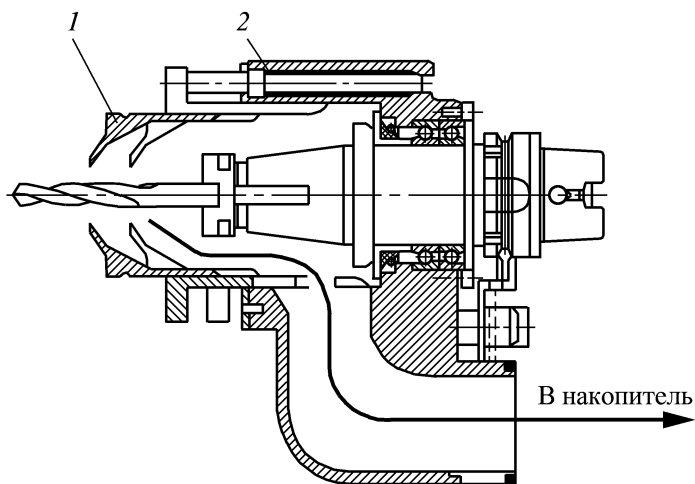


Рис. 84. Устройство для удаления стружки при сверлении по методу MMS:
1 — кожух; 2 — пружина

3.4. Устройства для применения нежидких СОТС

Помимо жидких СОТС, за которыми в практике сохраняется название СОЖ, в качестве смазывающе-охлаждающих сред применяют аэрозоли, газообразные СОТС и расплавы металлов.

Газообразные СОТС применяют при лезвийной обработке заготовок в тех случаях, когда по условиям выполнения технологического процесса не допускается использование жидких продуктов (например, при обработке в сборе опорных шеек роторов электромашин). Наиболее распространенной газообразной СОТС является воздух, применяемый самостоятельно или в виде жидких СОЖ, распыляемых воздухом.

Эффективность обработки металлических заготовок при воздушном охлаждении невелика, хотя определенное влияние оказывают понижение температуры воздуха до $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, его увлажнение (насыщение парами воды) и ионизация, а также подача его под давлением. Учитывая, что современные СОТС получают из дорогостоящих и дефицитных компонентов, возрос интерес к дозированной их подаче с минимальным расходом при обеспечении достаточной технологической эффективности лезвийной обработки заготовок. Минимальный расход СОТС обеспечивается при подаче их в виде воздушно-жидкостной смеси (аэрозоли).

Мелкодисперсные аэрозоли, капли жидкости которых соизмеримы с размерами капиллярных каналов, образующихся между поверхностями стружки и инструмента при лезвийной обработке, проникают в зону обработки и интенсифицируют функциональные действия СОТС вследствие увеличения суммарного количества и удельной поверхности капель.

Устройство подачи СОТС в виде мелкодисперсной аэрозоли (рис. 85) содержит промежуточный 1 и верхний 2 сосуды, образующие камеру распыления, в которой располагается сосуд 5 для распыляемой жидкости. На дне промежуточного сосуда 1 закреплен пьезопреобразователь 7. С верхним сосудом 2 соединены трубки 3 и 4 соответственно для подачи в камеру сжатого воздуха и нагнетания аэрозоли в зону обработки. После заполнения сосуда 5 жидкостью 6 до высоты F , расположенного несколько выше фокусного расстояния пьезопреобразователя 7, на последний подается сигнал от ультразвукового генератора и жидкость распыляется благодаря кавитации. При наложении

колебаний на поверхность струи, возникающей вследствие фонтанирования СОЖ, возбуждаются капиллярные волны, а капли аэрозоля образуются в результате их отрыва от гребней волн.

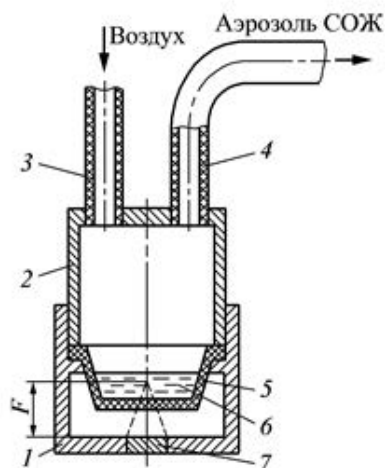


Рис. 85. Схема устройства для подачи СОЖ в виде мелкодисперсной аэрозоли

Другим вариантом применения газообразных СОТС является электростатическое охлаждение лезвийного инструмента. Путем подачи в зону резания ионизированного и озонированного воздуха удастся уменьшить температуру рабочей части реза при точении заготовок из коррозионно-стойких сталей и других труднообрабатываемых материалов на высоких скоростях до $110-115\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температуру инструмента на задней поверхности снизить в 1,5 раза. При этом происходит одновременное охлаждение зоны резания сжатым воздухом и экранирование тонкой оксидной пленкой зоны контакта режущего инструмента и обрабатываемой заготовки. Обладая значительно большей по сравнению с СОЖ проникающей способностью ионизированный и насыщенный озоном охлажденный воздух способен оказать определенное влияние на процессы контактного взаимодействия инструмента и материала обрабатываемой заготовки.

Принцип действия устройств для электростатического охлаждения показан на рис. 86. Ионизация потока воздуха проводится в сопле с помощью коронного разряда. Сопло (рис. 86, *а*) состоит из иглы 4, изолированной от втулки 1, и корпуса 3 пластмассовым патрубком 2. Втулка через корпус сопла, металлический рукав и корпус блока питания соединена с клеммой «земля». С выхода блока питания через провод на иглу подается высоковольтное напряжение. Втулка выполнена таким образом, чтобы создать между кончиком иглы и втулкой максимально симметричное электрическое поле, что способствует устойчивому коронному разряду в этой зоне.

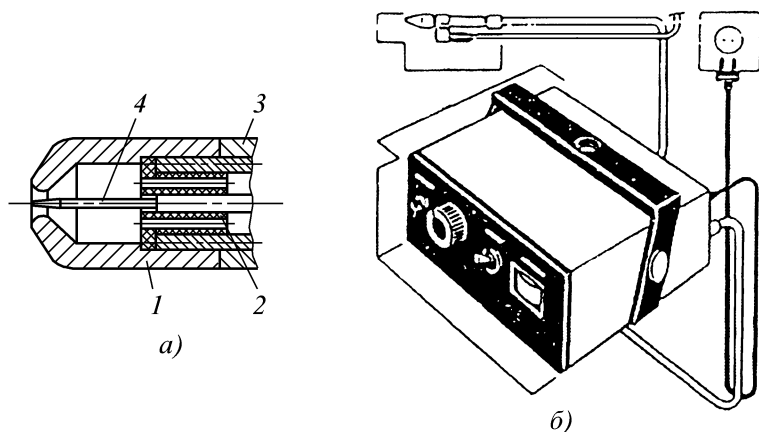


Рис. 86. Устройство для электростатического охлаждения:
а — сопло; *б* — установка высокого напряжения; 1 — втулка;
 2 — патрубок; 3 — корпус; 4 — игла

Блок питания размещается в отдельном корпусе (рис. 86, *б*). Внутри корпуса размещены элементы электрической схемы, создающей высоковольтное импульсное напряжение, которое выпрямляется и подается на иглу 4.

В сопло подается очищенный воздух под давлением до 0,6 МПа, содержащий масло с концентрацией из расчета 1–2 капли на 1 м³ воздуха.

Выбор варианта установки сопла зависит от различных факторов: характера износа режущего инструмента, возможности монтажа в зоне резания и др.

Возможны два варианта установки сопла:

- подача ионизированного воздуха со стороны задней грани режущего инструмента;
- подача ионизированного воздуха между передней гранью режущего инструмента и стружкой.

Первый вариант обеспечивает большой коэффициент повышения стойкости инструмента и обеспечивает хорошую защиту сопла от сходящей из-под инструмента стружки. Второй вариант обеспечивает лучшее дробление стружки.

При установке сопла необходимо обеспечить направление его в зону резания и расстояние от торца сопла до зоны резания 15–25 мм.

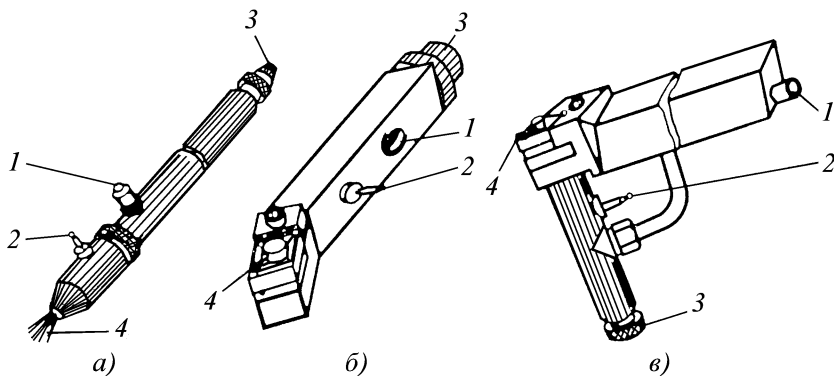


Рис. 87. Устройства для электростатического охлаждения:

- а* — универсальное для автономного размещения на станке;
- б* — размещаемое в державке токарного инструмента;
- в* — для подачи ионизированного воздуха на заднюю поверхность токарного резца; *1* — входной патрубок для сжатого воздуха;
- 2* — электроконтакт; *3* — регулировочный вентиль;
- 4* — сопло для подачи ионизированного воздуха

На рис. 87 показаны примеры использования принципа электростатического охлаждения в конкретных конструкциях.

При абразивной обработке применяют замороженные технологические среды (ЗТС). Это позволяет повысить режущую способность круга в 1,3–1,5 раза при шлифовании заготовок из стали и одновременно уменьшить шероховатость шлифованной поверхности на 30–50 % по сравнению с обработкой при подаче той же СОТС поливом в зону обработки.

ЗТС подают в зону обработки в процессе шлифования обычно в виде бруска, который одновременно касается поверхностей круга и обрабатываемой заготовки (рис. 88). При этом происходит диспергирование поверхности бруска шлифовальным кругом и транспортирование образующейся дисперсной массы в зону шлифования. В процессе диспергирования бруска происходит механическая очистка рабочей поверхности круга, а ЗТС способствует дополнительному отводу тепла от поверхности заготовки в месте ее контакта с поверхностью бруска.

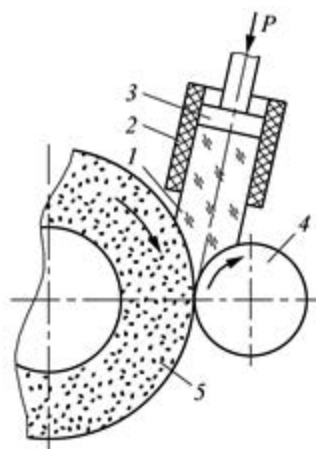


Рис. 88. Схема подачи ЗТС на операции круглого наружного шлифования:
 1 — ЗТС; 2 — цилиндр; 3 — поршень; 4 — заготовка;
 5 — шлифовальный круг

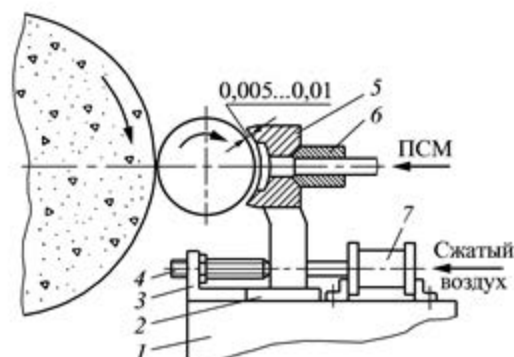


Рис. 89. Схема подачи ПСМ:

- 1 — основание; 2 — направляющая; 3 — стойка;
 4 — винт; 5 — гидростатическая опора; 6 — канал подвода ПСМ;
 7 — пневмоцилиндр

Способы нанесения пластичных СОТС на лезвийный инструмент различны: погружение инструмента в смазочный материал, нанесение его кистью, лопаткой или натиранием, с помощью губ и шприцев. При использовании твердых СОТС в виде антифрикционных покрытий, наносимых на рабочую поверхность режущего инструмента, большое значение имеют экономичность, прочность и надежность нанесенного покрытия резцов. Эффективно нанесение твердых смазок путем распыления суспензии, содержащей твердый наполнитель, связку, летучий растворитель и отвердитель на рабочую поверхность инструмента. После высушивания смеси на поверхности инструмента образуется равномерное смазочное покрытие.

Пластичные смазки (ПСМ) подают под давлением к заготовке при круглом наружном шлифовании путем подачи ПСМ через гидростатическую опору (рис. 89). Регулирование зазора и расхода ПСМ осуществляется винтом 4. При подаче ПСМ через отверстие в башмаке 5 под давлением 0,3 МПа возникает гидростатическое давление в зазоре между поверхностями заготовки и башмака. Расход ПСМ при этом очень мал, но возрастает по мере съема припуска с обрабатываемой заготовки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Маслов, А. Р.* Приспособления для металлообрабатывающего инструмента : справочник / А. Р. Маслов. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Машиностроение, 2006. — 320 с.
2. Справочник конструктора-инструментальщика / под общей редакцией В. А. Гречишникова и С. В. Кирсанова. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Машиностроение, 2006. — 542 с.
3. *Боровский, Г. В.* Справочник инструментальщика / Г. В. Боровский, С. Н. Григорьев, А. Р. Маслов ; под общей редакцией А. Р. Маслова. — 2-е изд., испр. — Москва : Машиностроение, 2007. — 464 с.
4. *Григорьев, С. Н.* Инструментальная оснастка станков с ЧПУ : справочник / С. Н. Григорьев, М. В. Кохомский, А. Р. Маслов ; под общей редакцией А. Р. Маслова. — Москва : Машиностроение, 2006. — 544 с.
5. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием : справочник / под общей редакцией Л. В. Худобина. — Москва : Машиностроение, 2006. — 544 с.