

141

СПРАВОЧНИК

ЛЕЗВИЙНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ



ИЗДАТЕЛЬСТВО
 **Т**ехніка»

ЛЕЗВИЙНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

СПРАВОЧНИК

Под общей редакцией
академика АН УССР
Н.В.НОВИКОВА

Проверено 1981 г.

Киев
«Техника»
1988

21.9 (083)
941
ББК 34.63—5я2

Л41

УДК 621.9.02

Авторы: Н. П. Винников, А. И. Грабченко, Э. И. Гриценко, Л. П. Девин, В. И. Дрожжин, В. Ф. Дрожин, В. П. Зубарь, С. А. Клименко, Я. А. Лецинер, А. С. Мановицкий, Ю. А. Муковоз, В. П. Чапалюк, В. М. Эшштейн

Рецензент чл.-корр. АН УССР П. Р. Родин

Редакция литературы по машиностроению и транспорту

Зав. редакцией П. Ф. Боброва



Научно-техническая
библиотека
ГН

Лезвийный инструмент из сверхтвердых материалов: Справочник / Н. П. Винников, А. И. Грабченко, Э. И. Гриценко и др.; Под общ. ред. акад. АН УССР Н. В. Новикова. — К.: Техника, 1988. — 118 с.

ISBN 5—335—00107—0

Приведены сведения о технологических процессах обработки поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ) при изготовлении и восстановлении режущего инструмента. Помещены различные конструкции инструментов из ПСТМ, оборудование, на котором применяются эти инструменты, даны режимы резания при обработке различных труднообрабатываемых материалов.

Рассчитан на инженерно-технических работников промышленных предприятий, может быть полезен студентам соответствующих специальностей.

Л 2703000000-177
М202(04)-88 КУ-№ 3-292-88

ББК 34.63—5я2

ISBN 5—335—00107—0

© Издательство «Техника», 1988

ПРЕДИСЛОВИЕ

Перед машиностроительным комплексом страны поставлена задача коренного повышения технического уровня, конкурентоспособности машиностроительной продукции, перехода на производство новых поколений машин и оборудования, способных обеспечить внедрение прогрессивных технологий, повышение производительности труда, существенное снижение материальных затрат.

Техническое перевооружение машиностроения может быть обеспечено при опережающем выпуске прогрессивной техники: металлорежущих станков с ЧПУ, тяжелых и уникальных станков и прессов, станков высокой и особо высокой точности.

Эффективная работа этого оборудования в значительной мере зависит от оснащения его высоконадежными режущими инструментами. Одним из направлений совершенствования лезвийных инструментов в настоящее время является оснащение их поликристаллическими сверхтвердыми материалами (ПСТМ). Такими инструментами с высокой точностью можно обрабатывать детали любой сложной формы из материалов с повышенными прочностными характеристиками и специальными свойствами, в том числе из закаленных сталей, жаропрочных сплавов, труднообрабатываемых чугунов, цветных металлов и абразивных неметаллических материалов.

Использование инструментов из ПСТМ на основе синтетического алмаза и кубического нитрида бора оказывает существенное влияние на технологию механической обработки, способствует улучшению качества продукции, повышает стойкость резцов, снижает производственные затраты.

Отсутствие обобщенных данных по прогрессивным режущим инструментам затрудняет и сдерживает их применение в промышленности. В настоящее время испытывается недостаток в справочной литературе, которая могла бы быть использована инженерами для выбора необходимого вида инструмента, инструментального материала, назначения рациональных режимов резания при обработке различных материалов.

При подготовке данного справочника авторы поставили перед собой задачу систематизировать имеющиеся сведения по режущим инструментам из ПСТМ, областям их эффективного применения, дать практические рекомендации по эксплуатации инструментов при различных видах обработки.

Материалы, приведенные в справочнике, включают также результаты авторских исследований, которые могут быть использованы для повышения эффективности лезвийной обработки инструментами из ПСТМ традиционных и новых материалов.

Отзывы и пожелания просим направлять по адресу: 252601 Киев, 1, ул. Крещатик, 5, издательство «Техника».

Глава 1

ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СВЕРХТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Поликристаллические сверхтвердые материалы (ПСТМ) систематизируются по таким определяющим признакам, как состав основы поликристаллов, способ получения, характеристика исходного материала. Вся гамма поликристаллов разделяется на четыре основные группы (табл. 1): ПСТМ на основе алмаза (СПА), ПСТМ на основе плотных модификаций нитрида бора (СПНБ), композиционные сверхтвердые материалы (КСТМ), двухслойные сверхтвердые композиционные материалы (ДСКМ).

ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СВЕРХТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ АЛМАЗА

Поликристаллы на основе синтетического алмаза можно разделить на четыре разновидности [38]:

1. Поликристаллы, получаемые спеканием мелких алмазных порошков в чистом виде или после специальной предварительной обработки для активации процесса спекания. Изготовленные по такой схеме поликристаллы представляют собой, как правило, однофазный продукт. Примером могут служить мегадаймонд, карбонит.

2. Поликристаллы алмаза типа СВ. Они представляют собой гетерогенный композит, состоящий из частиц алмаза, скрепленных связкой — второй фазой, которая располагается в виде тонких прослоек между кристаллами алмаза.

3. Синтетические карбонады типа АСПК. Их получают путем воздействия на углеродсодержащее вещество со значительным количеством катализатора одновременно высокого давления и высокой температуры. Плотность таких поликристаллов изменяется в широких пределах, а содержание примесей составляет от 2 до 20 % по мас. Поэтому поликристаллы типа АСПК обладают меньшей твердостью и прочностью, чем поликристаллы первых двух разновидностей.

4. Поликристаллы алмаза, получаемые пропиткой алмазного порошка металлическим связующим при высоких давлениях и температурах. В качестве связки используются никель, кобальт, железо, хром. Алмазные поликристаллы, получаемые по указанному способу, имеют высокие механические свойства.

Алмазы типа АСВ (баллас), АСПК (карбонад) — поликристаллические образования. АСВ — сферолиты шаровидной формы с радиально-лучистым внутренним строением. Составляющие их алмазные кристаллы являются, как правило, двойниковыми сростками. Кристаллиты балласа имеют блочное строение и разные размеры по сечению образца: в центре более мелкие, чем на периферии. Их величина находится в пределах 10—300 мкм. Плавность большинства кристаллитов алмаза АСВ — это комбинация форм куба {100}, октаэдра {111} и тетрагексаэдра {210} с примерно одинаковым развитием площади граней {110}. Поликристаллы АСПК имеют аналогичную структуру, но размеры их зерен меньше (до 200 мкм).

Важным для внутреннего строения поликристаллов алмазов типа АСВ и АСПК является наличие различных включений. Состав включений и характер их распределения значительно влияют на физико-механические свойства алмазов. Кроме основной, преобладающей фазы алмаза в состав синтетических балласов и карбонадов входят непрореагировавший графит, металл-катализатор, его карбиды, твердый раствор металл—углерод. Размер включений составляет 0,5—10 мкм.

Установлено два вида дисперсных металлических включений, различающихся по своему составу: ориентированные, закономерно сопряженные с решеткой алмаза, заключенные внутри кристаллитов, и неориентированные,

1. Классификация ПСТМ

Группа	Способ получения	Состав	Марка	Страна-изготовитель
Синтетические поликристаллические материалы на основе алмаза (СПА)	Синтез из графита	Алмаз, графит, металл-катализатор, его карбиды и оксиды	АСВ5, АСВ6, АСВР, АСПК1, АСПК2, АСПК3, АСНВ, АСФ, АКМ	СССР
	Спекание алмазных порошков, сопровождающееся промежуточным фазовым переходом	Алмаз и связка	СКМ, карбонит, СВ20, СВС, СВБ, СВК, СВПК	СССР
			Мегадаймонд	США
			Новотипс	ФРГ
Синтетические поликристаллические материалы на основе нитрида бора (СПНБ)	Синтез из смеси гексагонального и других модификаций нитрида бора	Кубический нитрид бора (преимущественно), нитриды и бориды металла катализатора	Композит 01 (эльбор-Р), композит 02 (бэльбор), композит 09 (ПТНБ), композит 10 (гексаинт-Р)	СССР
Композиционные поликристаллические материалы (КСТМ)	Спекание смеси порошков алмаза и КНБ или гексагонального нитрида бора, сопровождающееся частичным фазовым переходом	Алмаз и КНБ	СВАБ, ПКНБ АС	СССР
			Компакт	Япония
Двухслойные композиционные материалы (ДСКМ) на основе алмаза	Спекание порошков алмаза с металлической или твердосплавной подложкой	Рабочий алмазный слой, металлическая или твердосплавная основа	ДАП, АМК, АТП, диамет, СВВН-1, СВВН-10, СВВН-20	СССР
			Сумидра-200	Япония
			Метанаке, стратонаке, синпаке, компаке	США
			Полиблон	ФРГ
			Серопаке-Р	Бельгия
			Полсинт	Франция
			Синдиг	ЮАР

Продолжение табл. 1

Группа	Способ получения	Состав	Марка	Страна-изготовитель
Двухслойные композиционные материалы (ДСКМ)	Спекание порошков КНБ с твердосплавной подложкой	Рабочий слой — плотные модификации нитрида бора (кубический и гексагональный трид бора) на твердосплавной основе	СВНБ, СВНБ-20, СВНБ-050, композит 10Д, БПК, композит 05 ИТ-2С	СССР
			Сумибороп Амборит	Япония ЮАР

расположенные по границам зерен. В микрообъемах их распределение неравномерно. Соотношение между объемами этих видов существенно зависит от условий синтеза. Количество неориентированных включений составляет 1—3 %, а ориентированных — примерно 5 %.

Структура алмазов типа СВ — поликристаллическая, двухфазная. Межкристаллитные границы нечеткие даже после травления. Вторая фаза располагается либо в виде тончайших прожилок между кристаллами алмаза, либо представляет собой скопления неправильной формы в межзеренном пространстве. Общее количество примесей не превышает 2 %.

Основные свойства некоторых ПСТМ на основе алмаза приведены в табл. 2—6.

2. Физико-механические свойства ПСТМ на основе алмаза

Материал	Микротвердость HV, ГПа	Предел прочности при сжатии σ_c , МПа	Модуль упругости E, ГПа	Термостойкость, °C
АСВ-1, АСВ-5, АСВ-6, АСВ-Р	90—100	400—800	850	700
АСПК, АСПВ	100	400—800	850	700—900
СВ, СВС, СВАБ	100	5000	850	700
СКМ	100	5000	850	700
АМК	78—80	4500—5000	—	850—900
АМК-Т	82—86	5000—5500	—	750
Карбонит	—	4400—5900	—	—

3. Твердость ПСТМ на основе алмаза по Кнуппу [38]

Материал	Нагрузка на индентор, Н	Твердость, ГПа	Материал	Нагрузка на индентор, Н	Твердость, ГПа
Природный алмаз	9,8	56—102	СВБ	—	90—100
АСВ	2,0	60	Мегадаймонд	—	78
СВА-15В	—	65—80	Карбонит	9,8	39,2—44,2

4. Теплопроводность λ поликристаллов на основе алмаза в нормальных условиях

Материал	λ , Вт/(м·К)	Материал	λ , Вт/(м·К)
Поликристаллический алмаз	250—580	СВА	235—275
АСВ	290—330	Формсет	700
СКМ	150—250	Синдит	550
		Сумидиа	130

5. Теплопроводность λ , Вт/(м·К), (числитель) и температуропроводность a , м²/с, (знаменатель) при различной температуре нагрева поликристалла

Материал	Температура, К				
	400	500	600	700	800
АСВ	$274/9,5 \cdot 10^5$	$223/6,2 \cdot 10^5$	$152/1,5 \cdot 10^5$	$80/1,5 \cdot 10^5$	$27/0,16 \cdot 10^5$
СКМ	$110/3,61 \cdot 10^5$	$94/3,09 \cdot 10^5$	$25/2,2 \cdot 10^5$	$25/0,02 \cdot 10^5$	—

6. Термостойкость алмазов, °C, в зависимости от внешней среды

Среда	Природный алмаз	АСПК	АСВ
Воздушная	900	—	700—720
Водородная	Свыше 1350	—	950
Смесь порошков ВК15 и Ni при выдержке:			
5 мин (давление атмосферное)	1200	950—1000	850—900
60 мин (давление атмосферное)	—	750—850	750—850
5 мин (давление 15 МПа)	1250	1100	1050

Микротвердость поликристаллических алмазов в среднем такая же, как природных монокристаллов, но диапазон изменения ее у синтетических алмазов шире. Отношение максимального значения к минимальному для различных типов поликристаллов находится в пределах 1,5—2,28. Микротвердость на периферии в 1,25 раза больше, чем в центре образца на участках, прилегающих к катализатору.

Плотность синтетического балласта и карбонада выше, чем плотность природных монокристаллов алмаза, что объясняется наличием распределенного количества металлических включений. С увеличением концентрации металлической фазы практически пропорционально возрастает и плотность.

Теплопроводность поликристаллов алмаза превышает теплопроводность меди и серебра, в ряде случаев достигает значений теплопроводности монокристаллов алмаза. Теплопроводность поликристаллов зависит от температуры. Причем для одних материалов с увеличением температуры до 450 °C теплопроводность возрастает, достигая максимума, а затем снижается [56]. Для других, типа АСВ и СКМ, — монотонно снижается до 900 °C. Зависимости

теплопроводности некоторых поликристаллов алмаза от температуры нагрета поликристалла приведены на рис. 1 и в табл. 5.

Термостойкость (температура, при которой наступает потеря прочности абразивной способности и массы) для АСБ и СКМ определяется диапазоном 600—1000 °С. Указанное изменение наступит вследствие окисления или графитизации алмазных зерен, т. е. обратного перехода алмаза в графит. Интенсивность процесса зависит от состава окружающей среды, внешнего давления, времени выдержки при данной температуре, степени совершенства кристаллов и количества примесей.

Коэффициент трения у ПСТМ меньше, чем у твердых сплавов и быстрорежущих сталей, но больше, чем у природных алмазов (табл. 7).

Абразивная способность (стойкость) алмазных поликристаллов устанавливается при шлифовании их абразивными кругами и оценивается отношением объема (массы) абразива к объему (массе) алмаза, парасходованных в процессе испытания. Она изменяется в широком интервале: от 10 до 151 см³/мг у АСБ и от 5 до 260 г/мг у АСПК.

С увеличением микротвердости от 500,0 до 1140,0 ГПа абразивная способность синтетического алмаза возрастает до 15 раз. При повышении плотности образцов АСПК абразивная способность их резко падает.

7. Коэффициент трения сверхтвердых материалов

Металл, сплав	Природный алмаз	АСПК	АСБ
Медь М1	0,03—0,07	0,10—0,14	0,15—0,22
Латунь Л62	0,03—0,07	0,10—0,13	0,16—0,21
Латунь ЛС59-1	0,05—0,06	0,10—0,12	0,15—0,20
Дюралюминий Д16Т	0,06—0,07	0,10—0,12	0,18—0,25
Магний сплав МА-8	0,06—0,08	0,12—0,14	0,17—0,26
Сталь ШХ15	0,08—0,09	0,11—0,12	0,13—0,17
Сталь 20	0,08—0,10	0,14—0,18	0,20—0,30

ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СВЕРХТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ НИТРИДА БОРА

Существует несколько разновидностей ПСТМ на основе нитрида бора [38]:

1) поликристаллы, синтезируемые из гексагонального нитрида (ГНБ) бора в присутствии растворителя $\text{BN}_x \rightarrow \text{BN}_{\text{сф}}$ (типичным представителем является композит 01);

2) поликристаллы, получаемые в результате прямого перехода гексагональной модификации в кубическую $\text{BN}_x \rightarrow \text{BN}_{\text{сф}}$ (компози́т 02);

3) поликристаллы, получаемые в результате превращения вюрцитоподобной модификации в кубическую $\text{BN}_x \rightarrow \text{BN}_{\text{сф}}$; поскольку полигон перехода регулируется параметрами спекания, то к этой группе относятся материалы с заметно отличающимися свойствами (компози́т 10, компози́т 03);

4) поликристаллы, получаемые спеканием порошков кубического нитрида бора (КНБ) с активирующими добавками (компози́т 05-117, киборит и др.).

8. Основные физико-механические характеристики ПСТМ на основе плотных модификаций нитрида бора

Материал	Твердость, ГПа	Предел прочности при сжатии $\sigma_{\text{сж}}$, ГПа	Предел прочности при растяжении $\sigma_{\text{р}}$, ГПа	Предел прочности при изгибе $\sigma_{\text{из}}$, ГПа	Коэффициент		Модуль Юнга E , ГПа	Плотность, г/см ³	Теплопроводность λ , Вт/(м·К)
					трещино-стойкости K_{IC} , МПа $\times$ м ^{1/2}	Пуассона ν			
Компози́т 01 (э-льбор-Р)	HK 35—37	2,7	0,44—0,46	—	3,9—4,2	0,16	840	3,4	60—80 (при 350—360 К)
Компози́т 02 (белбор)	—	4,0—6,5	—	0,7	—	—	720	3,5	150—180 (при 900—950 К)
Компози́т 05-117	HK 19	2,2	0,20—0,22	0,47	4,6—6,7	—	620	4,0 4,3	25—30 (при 360 К) 40—60 (при 950 К)
Компози́т 10 (тексант-Р)	HK 30,5—38,6	2,0—4,0	0,32	1,0—1,5	3,8—5,9	0,14—0,16	715	3,28	100
Киборит	HK 38—42	2,9—3,2	0,35—0,39	—	8,2	0,16	880	3,2—3,4	100—135
Боразол	HV 45	—	—	—	—	—	—	3,48	100
Амборит	HV 40 HK 28	2,73	0,45	0,57	6,3	—	680	—	37,8
Сумаборон	HV 30—35	—	—	—	—	—	—	4,2	28 (при 673 К)
Вюрцит	HV 30—40	—	—	0,8	13,0	—	—	—	—

ПСТМ на основе плотных модификаций нитрида бора, незначительно уступаая алмазу по твердости, отличаются высокой термостойкостью, стойкостью к химическому воздействию высоких температур и, что особенно важно, более слабым химическим взаимодействием с железом, являющимся основным компонентом большинства материалов, подвергаемых в настоящее время обработке резанием.

Поликристаллы типа композит 01 имеют мелкозернистую структуру, доминирующей фазой которой являются мелкие зерна КНБ, сросшиеся и взаимно проросшие с образованием прочного агрегата. Примеси равномерно распределены по объему образца. Наряду с основной кубической модификацией в них возможно частичное содержание непрореагировавшего гексагонального нитрида бора. Размеры зерен и включений сопутствующих фаз равны примерно 30 мкм, пористость равномерная, составляет 19 %.

Структура поликристалла композита 09 в соответствии с составом исходного сырья представляет собой преимущественно смесь кубической и шпинеллоподобной модификаций нитрида бора. Изменение количественного соотношения их в исходной смеси приводит к изменению эксплуатационных свойств поликристаллов.

Композит 10 характеризуется тонкозернистой, скрытокристаллической, многофазной структурой. Кроме шпинеллитной фазы, в нем содержится в широком диапазоне концентраций фаза со структурой сфалерита, возможна также графитоподобная модификация [26]. Размер частиц основной фазы — менее 1 мкм. Включения и примеси размером 10—15 мкм равномерно распределены по всему объему.

Микротвердость СПНБ находится в пределах 30—50 ГПа, убывая в такой последовательности: композит 01, композит 09, композит 10. В том же направлении уменьшается и хрупкость поликристаллов, т. е. возрастает их вязкость разрушения.

Основные физико-механические характеристики различных марок ПСТМ на основе плотных модификаций нитрида бора приведены в табл. 9—10.

9. Коэффициент трения ПСТМ на основе нитрида бора

Соприкасаемый материал (твердость)	ПСТМ	
	Композит 01	Композит 10
ШХ15 (HRC 62—64)	0,12—0,31	0,10—0,21
ХВГ (HRC 62—64)	0,20—0,40	0,14—0,31

10. Теплопроводность λ , Вт (м · К), (числитель) и температуропроводность α , м²/с, (знаменатель) при различной температуре нагрева поликристалла

Материал	Температура, К			
	400	500	600	700
Композит 10 (гексанит-Р)	82/2,64 · 10 ⁵	126/2,61 · 10 ⁵	171/5,50 · 10 ⁵	190/6,12 · 10 ⁵
Композит 01 (альбор-Р)	27/0,86 · 10 ⁵	27/0,86 · 10 ⁵	64/2,06 · 10 ⁵	78/2,51 · 10 ⁵

КОМПОЗИЦИОННЫЕ СВЕРХТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ

КСТМ, однородные по объему, получают спеканием смеси порошков синтетического алмаза и кубического или шпинеллитного нитрида бора. Сюда относятся материалы типа ПКНБ — АС, СВАБ (СССР), компакт (Япония). Эти материалы следует рассматривать как перспективные.

Из материалов этого класса наибольшей микротвердостью обладают материалы СВ-1 и СВ-40, а наименьшей — СВ-14 и СВАБ. Невосстановленная микротвердость изменяется от 47,0 до 66,0 ГПа, а модуль упругости — от 140 до 810 ГПа.

К классу композиционных относят также алмазосодержащие материалы на основе твердых сплавов. Из материалов этой группы, хорошо зарекомендовавших себя при эксплуатации, следует отметить «Славутин» (из природных алмазов) и твесапы (из синтетических алмазов).

ДВУХСЛОЙНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СВЕРХТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Принципиальной особенностью ДСКМ является то, что спекание порошков сверхтвердых материалов производится при высоких температурах и давлении на подложке из твердых сплавов на основе карбидов вольфрама, титана, тантала, в результате чего образуется слой ПСТМ толщиной 0,5—1 мм, прочно связанный с материалом подложки. Алмазосодержащий слой может содержать компоненты подложки.

Двухслойные материалы имеют ряд преимуществ по сравнению с однородными по объему СТМ. Упрощается технология крепления режущего инструмента в корпусе державки путем пайки к твердосплавной подложке. Наличие подложки, прочно соединенной с рабочим слоем из СТМ, придает материалам повышенную ударную прочность, а использование слоя СТМ малой толщины (0,5—2 мм) делает их более экономичными, поскольку при заточке и переточке инструмента значительно уменьшаются безвозвратные потери дорогостоящих сверхтвердых материалов.

К наиболее известным отечественным двухслойным сверхтвердым композиционным материалам из кубического нитрида бора относятся композит 05-ИР-2С, композит 10Д, БИК [40], на основе алмаза — ДАП, Диаметр, АМК-25, АМК-27, БПА, АТН. За рубежом двухслойные поликристаллические сверхтвердые материалы на основе алмаза выпускает фирма «De Beers» с торговой маркой синдит РКД010 и РКД025 [58]. Синдит РКД025 рекомендуется главным образом для грубой обработки, а более мелкозернистый синдит марки РКД010 — для окончательной обработки.

Заготовки пластин круглой формы выпускаются диаметром до 12,7 мм, высотой 1,6 и 3,18 мм, прямоугольной — размером от 3,0 × 1,0 мм до 5,0 × 4,0 мм, высотой 3,18 мм.

Фирмой «General Electric» (США) выпускаются следующие ДСКМ на основе алмаза: стратолак, синнакс, компакс, фирмой «Winter» (ФРГ) — полиблок, фирмой «Diamant» (Бельгия) — серолак-Р, фирмой «Presidia» (Франция) — диател.

ДСКМ на основе КНБ выпускают фирма «Sumitomo Denko» (Япония) — сумиборон, «De Beers» (ЮАР) — амборит двухслойный, «General Electric» (США) — BZN.

Основные физико-механические характеристики некоторых ДСКМ приведены в табл. 11, 12.

11. Физико-механические характеристики ДСКМ, ГПа

Материал	Микротвердость	Предел прочности при сжатии	Материал	Микротвердость	Предел прочности при сжатии
ДАП	72—80	4,8—5,3	АМК-27	75—84	5,0
Диамет	78—80	8,0	ДПГ	40—60	1,18
СВН-1	80—100	5,0	БПК	30—35	—
СВН-10			Композит 10Д	30—35	—
СВН-20			Ниборит	23—28	—
АМК-25	75—84	5,0	Композит 05-ИР (двухслойный)	22	—

12. Твердость ДСКМ с алмазным рабочим слоем по Кнуппу [40]

Материал	Нагрузка на индентор, Н	Твердость, ГПа	Материал	Нагрузка на индентор, Н	Твердость, ГПа
АЛВ	9,8	50—65	Сумидиа DA-150	9,8	42—50
Компакс	9,8	65—80	Сумидиа DA-200	9,8	42—50
Синдит 025	19,6	49,8	WD-210	9,8	30

Данные о свойствах зарубежных ДСКМ в литературе практически отсутствуют. Исключение составляет материал синдит [57], для которого приводятся следующие характеристики:

	РКД010	РКД025
Плотность, г/см ³	3,85	3,86
Прочность, ГПа:		
при сжатии	7,63	7,61
при изгибе	8,98	0,92
Вязкость разрушения, МПа·м ^{1/2}	7,31	8,61
Модуль упругости, ГПа	900	826
Твердость по Кнуппу, ГПа	50	50
Коэффициенты:		
Пуассона	0,09	0,09
Теплового расширения, К ⁻¹	42·10 ⁻⁶	4,5·10 ⁻⁶
Теплопроводность, Вт/(м·К)	560	560

Глава 2

КОНСТРУКЦИИ ИНСТРУМЕНТА ИЗ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Надежность и работоспособность режущих инструментов зависят не только от стабильности и физико-механических свойств материалов режущих пластин из ПСТМ, но и способа крепления их в корпусе инструмента и его конструкции. Конструкция инструмента в каждом конкретном случае определяется требованиями, предъявляемыми к его эксплуатации.

КРЕПЛЕНИЕ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ В РЕЖУЩЕМ ИНСТРУМЕНТЕ

Опыт эксплуатации инструмента из ПСТМ позволяет сформулировать следующие требования к методу закрепления поликристалла в державке инструмента. Он должен обеспечивать прочность, жесткость и надежность закрепления, возможность быстрой сборки, разборки, взаимозаменяемости инструмента, минимальный нагрев поликристалла при изготовлении режущего элемента, простоту эксплуатации инструмента.

Лезвийный инструмент из ПСТМ делится по типу закрепления поликристалла на три основные группы: с механическим креплением пластин в державке инструмента; с механическим креплением режущих вставок, оснащенных ПСТМ; с креплением поликристаллов СТМ непосредственно в державке инструмента.

Инструмент с механическим креплением пластин и сменных вставок из ПСТМ (первая и вторая группы) имеет ряд преимуществ по сравнению с инструментом третьей группы. К ним относятся: возможность быстрой смены изношенной режущей кромки ПСТМ, многократное использование корпуса инструмента, повышенная надежность крепления режущих элементов инструмента. К инструменту же из ПСТМ третьей группы предъявляются менее жесткие требования к изготовлению посадочных мест под заготовки поликристаллов. С помощью такого закрепления можно получить инструмент,

габаритные размеры которого меньше по сравнению с размерами инструментов первой и второй групп.

Выбор типа закрепления поликристалла в корпусе инструмента производится с учетом конкретных условий его эксплуатации.

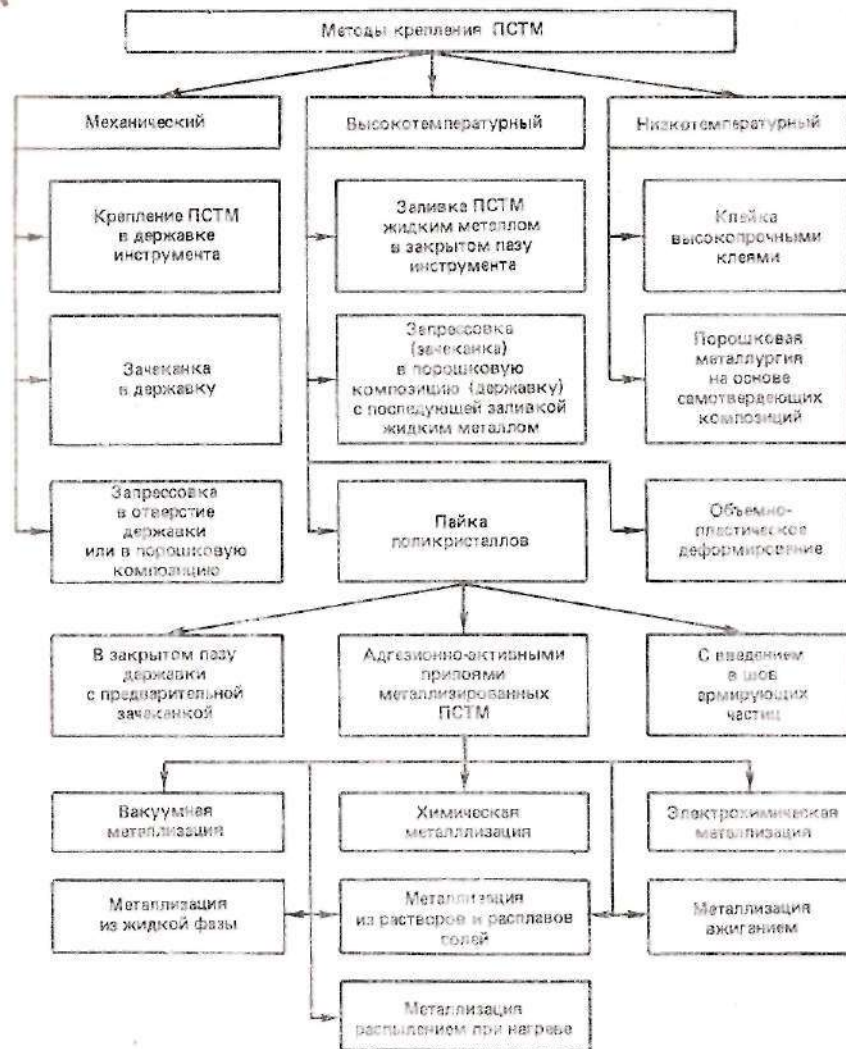


Рис. 2. Методы крепления ПСТМ

При изготовлении режущего инструмента из ПСТМ применяются механические, высоко- и низкотемпературные методы крепления поликристаллов (рис. 2).

К механическим методам относится крепление пластин непосредственно в державке, зачеканка поликристаллов в державке, запрессовка в отверстие державки или в порошковую композицию. Два последних метода не получили достаточно широкого распространения вследствие трудностей, возникающих при переточке режущих элементов.

В процессе изготовления режущего инструмента из ПСТМ применяют ряд высокотемпературных методов крепления поликристаллов СТМ.

Широкое распространение получил метод порошковой металлургии, который используется для закрепления поликристаллов во вставках, механически закрепляемых в резцах, фрезах и других инструментах. Метод заключается в том, что заготовки из ПСТМ прессуются в брикеты вместе с порошками металлов, после чего прессованная заготовка подвергается термообработке с заполнением пористой основы расплавленным металлом. Из полученного прочного материала производится переходные вставки к режущему инструменту. Применяются также методы заливки поликристалла жидким металлом в закрытом пазу инструмента, а также методы объемно-пластического деформирования. Широко используется метод пайки поликристаллов адгезионно-активными припоями.

При пайке в полузакрытый паз державки неметаллизированный поликристалл зачеканивают и заливают серебряным (ПСР 40, 45) или бессеребряным припоем с температурой плавления 600—700 °С. Пайка производится в вакуумных печах или на установках ТВЧ. При этом для обеспечения стабильности свойств и прочности спая необходимо строгое соблюдение температурных режимов пайки и охлаждения. Недостатками данного метода являются невозможность переточки инструмента без извлечения поликристалла из державки, вероятность возникновения трещин при зачеканике, необходимость вторичного нагрева ПСТМ во время пайки после переточки.

Пайку в открытый паз державки производят после металлизации поликристаллов. Это повышает прочность крепления, сокращает трудоемкость изготовления и переточки инструмента. Различают следующие способы металлизации поликристаллов: вакуумный (нанесение металлических покрытий из газовой фазы), химический (из газовой фазы при совместном нагреве ПСТМ и металла), электрохимический (осаждение ионов из раствора соли осаждаемого металла с добавкой различных компонентов), из жидкой фазы (смачивание поликристаллов сплавами с адгезионно-активными компонентами путем адсорбции на контактной поверхности промежуточного слоя металла), из растворов и расплавов солей (в основном комбинированными стеклано-металлическими покрытиями), вжиганием (прямым нанесением металлических порошков), распылением при нагреве (испарение металлов с помощью электронно-лучевого нагрева).

К преимуществам пайки перед другими методами относится простота конструкции инструмента и возможность получения резцов малых размеров, к недостаткам — нежелательный нагрев поликристалла до высокой температуры и внутренние термические остаточные напряжения в поликристаллах, снижающие стойкость инструмента.

Недостаточно высокая термостойкость ПСТМ, особенно на основе алмаза, требует создания методов закрепления поликристаллов, при которых температура на границе поликристалл — державка не превышает 750 °С.

В настоящее время закрепление поликристаллов в державке производится приклеиванием термостойкими клеями повышенной прочности или методами порошковой металлургии с использованием самотвердеющих композиций на основе износостойких металлов.

Для склеивания ПСТМ в державки применяют высокотемпературные клеи термостойкостью до 1000—1200 °С на основе кремнийорганических соединений. Для инструмента, предназначенного для работы на чистовых и получистовых режимах, используются специализированные клеи ТКМ-75 и ТКС.

Клеевые соединения удовлетворительно работают на сжатие и растяжение (предела прочности при растяжении клеевых соединений составляет 15,0—30,0 МПа). Однако они имеют низкую прочность при неравномерном отрыве. Универсальная технология изготовления инструмента из поликристаллов алмаза и нитридов бора отсутствует, поэтому ее выбор должен производиться в зависимости от конструкции и условий работы инструмента.

РЕЖУЩИЕ ПЛАСТИНЫ И ВСТАВКИ

Основным направлением совершенствования конструкций лезвийного инструмента из ПСТМ является использование непереключаемых пластин.

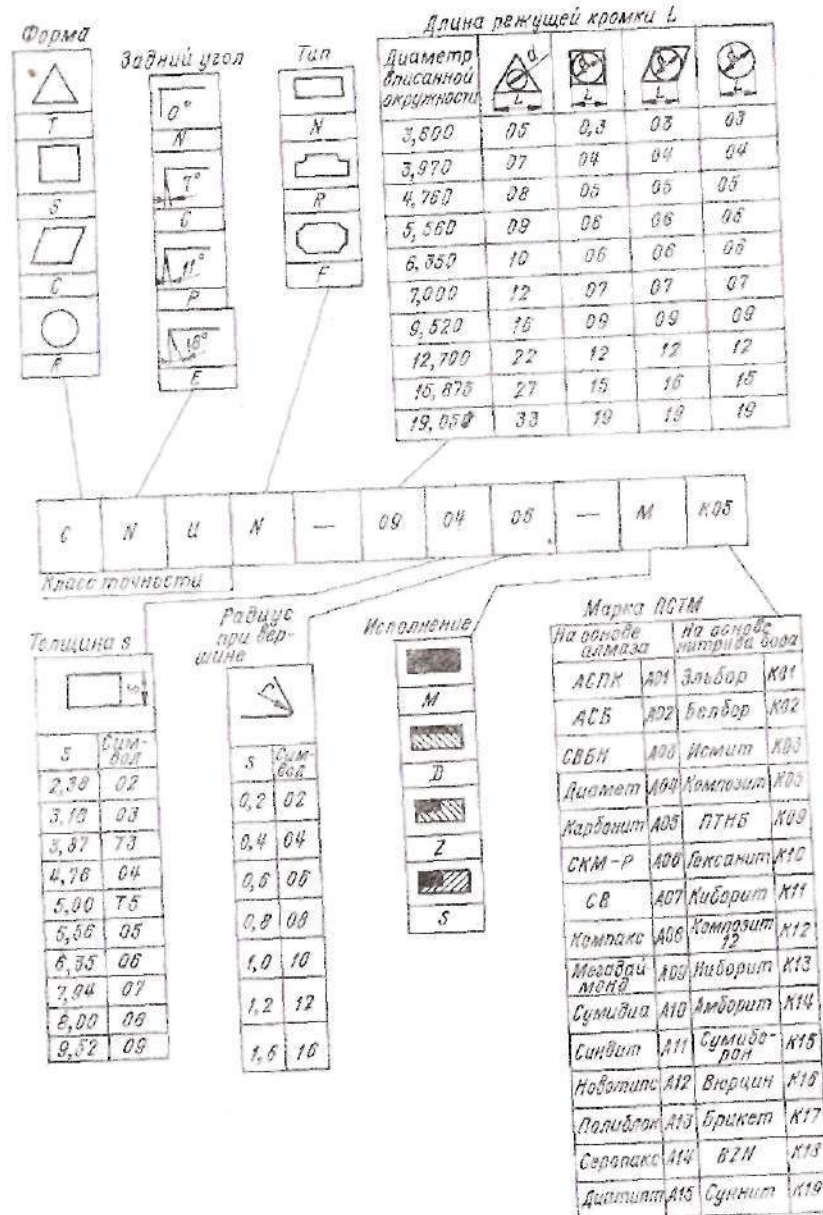
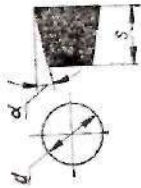


Рис. 3. Система условных обозначений пластин из ПСТМ

13. Многогранные режущие пластины из ПСТМ

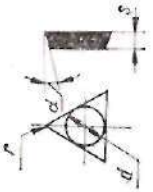
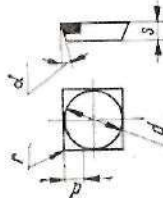
Основные размеры пластины	Основные размеры пластины				Класс точности	Изготовитель	Марка ПСТМ	Тип пластины
	d, мм	s, мм	r, мм	$\alpha, \dots^\circ$				
	3,6	2,38 3,18		0	U	Хриз, Бориз	К01	М
	7,0; 8,0; 9,52	3,18			U, G	ЛНПО «Ильич»		
	9,52; 12,7	3,97			U	ЛНПО «Ильич»	К05	
	7,0	5,0			U, G			
	8,0	3,97		0; 7; 11; 18	U	ЕрЗНА и АИ	К10	D
	5,56	3,18			U, G	ПЗНА и АИ	К10	
	5,56	1,59			G	—	А07	
	6,35; 8,0	2,38			G	НАМ	А13	
	5,0	1,5		0; 11; 20	M		А10	D
	8,0; 12,7	3,18			G	«Plansee»	К12	
	9,52	3,14			M	FUJI	К12	
	9,52; 12,7	4,76						

9,0	6,35 3,6	5	G	«Sumitomo»	К13		
12; 16; 20; 29							
5,56	2,38	0; 11; 18	U; G	СКТС и ТМ	А03	S	
6,35	3,18	0					
9,52	2,38	0; 11; 18					
5,56	3,18	11; 20	G	НАМ	А11	Z	
6,35; 9,52	4,76	0; 11; 20					
9,52	3,18	0; 11	G	FUJI	А09, К12	S	
9,52; 12,7; 15,9	4,76	11	G	«Plansee»	А10	S	
6,35; 9,52	3,18	0; 11	G	«Sumitomo»	А09, К12	S	
5,56	2,38	0	G, M				
6,35; 9,52	3,18						
9,52	4,76						

Научно-техническая
библиотека
ДПИ

Продолжение табл. 13

Продолжение табл. 13

Эскиз пластины	Основные размеры пластины					Класс точности	Изготовитель	Марка ЦСТМ	Тип пластины
	d, мм	s, мм	r, мм	α, ...°					
	4,76	3,18	0,8—1,2	0	U	ЛИПО «Ильяч»	K05	M	
	3,97; 5,56	3,97							
	3,97	1,59	0,4	5	G	Sumitomo	K13	D	
	6,35	3,18	0,4—1,6	0	M	Plancee	K12	M	
	12,7	4,76	1,2—1,6	0; 7	M	FUJI	K12		
	6,9	1,50	0,2—1,6	0; 11; 20	G	НАМ	A13	D	
	11	3,18							
	5,56	3,18	0,8—1,2	0	U	ЛИПО «Ильяч»	K05	M	
	4,76; 5,56	3,97							
	3,97	3,18; 3,97				ПЗИА и АИ	K10	D	
	12,7; 15,8	4,76	0,8—1,6	0	M	FUJI	K12	D	
	9,52; 12,7	3,18	0,8—1,6	0	M	«Plancee»	K12	M	
	6,35	2,38	0,4—2,0	0; 11; 18	U; G	СКТС и ТМ	A03	S	
	9,52	3,18	0,8—2,0						
	12,7		0,8—1,2						
	9,52; 12,7	3,18	0,2—1,6	0; 11; 20	G	НАМ	A11	Z	
	12,7; 15,9; 19,0	4,76							
	9,52; 12,7	3,18	По заказу	0; 11	G	FUJI	A09, K12	S	
	9,52; 12,7; 15,9; 19,0	4,76							
	12,7	3,18	0,4—0,8	11	G	«Plancee»	A10	S	
	9,52; 12,7	3,18	0,4—1,2	0; 11	G				
	12,7	4,76	0,8—1,2	0	G; M	«Sumitomo»	A09, K13	S	
	5,56	3,18	0,8—1,2	0	U	ЛИПО «Ильяч»	K05	M	
	4,76; 5,56	3,97							
	3,97	3,18; 3,97	0,8—1,2	0	U	ПЗИА и АИ	K10	D	
	9,52	3,18	0,8—1,6	0	M	«Plancee»	A10	S	

Продолжение табл. 13

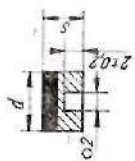
Продолжение табл. 13									
Эскиз пластины	Основные размеры пластины				Класс точности	Изготовитель	Марка ПСГМ	Тип пластины	
	d, мм	s, мм	r, мм	α, ...°					
	12,7	4,76	0,8—1,2	0	M	“Sumitomo”	K13	Z	

Примечание. Здесь и далее Хр13 — Краунровский инструментальный завод, Бор13 — Борисовский инструментальный завод, ПЗИА в АИ — Подольский завод искусственных алмазов и алмазного инструмента, ЛНПО «Альбат» — Ленинградское научно-производственное объединение «Альбат», СКПС и ТМ — Светловодский комбинат твердых сплавов и тугоплавких материалов, БрЗИА в АИ — Брестский завод искусственных алмазов и алмазного инструмента.

14. Многогранные режущие пластины из ПСГМ специальных форм

Эскиз пластины	Основные размеры пластины					R, мм	Класс точности	Марка ПСТМ	Тип пластины
	d, мм	s, мм	r, мм	α, ...°					
	5,56	3,18; 3,97	1,0	0	—	E, H	K05	M	
	6,35		1,2						
	9,52		1,4						
	12,7		1,6						
	5,56	3,18; 3,97	1,0	7; 11					
6,35	1,2								
	9,52	3,18; 3,97	1,4	0					
	12,7		1,6						
	5,56	3,18; 3,97	1,0	7; 11					
	6,35		1,2						
	9,52		1,4						
12,7	1,6								
	5,56	3,97	1,0	0	—	E, H	K05	M	
	6,35		1,2						
	9,52		1,4						
	12,7		1,6						
	6,35	3,18	—	0; 7; 11	0,1—0,8	U	K11	M	
	7,0								
	7,5								
	8,0								

Продолжение табл. 14

Эскиз пластины	Основные размеры пластины					R, мм	Класс точности	Марка ПСТМ	Тип пластины
	d, мм	s, мм	f, мм	$\alpha, \dots^\circ$					
	5,56	3,97	—	0	—	—	U	K10	D
	8,0	3,18	—	—	—	—	U, M, G	K13	D
	8,0	2,4	0,7	II	—	—	G	K14	Z
	9,52	3,18	1,2						
	12,7	4,76	1,4						

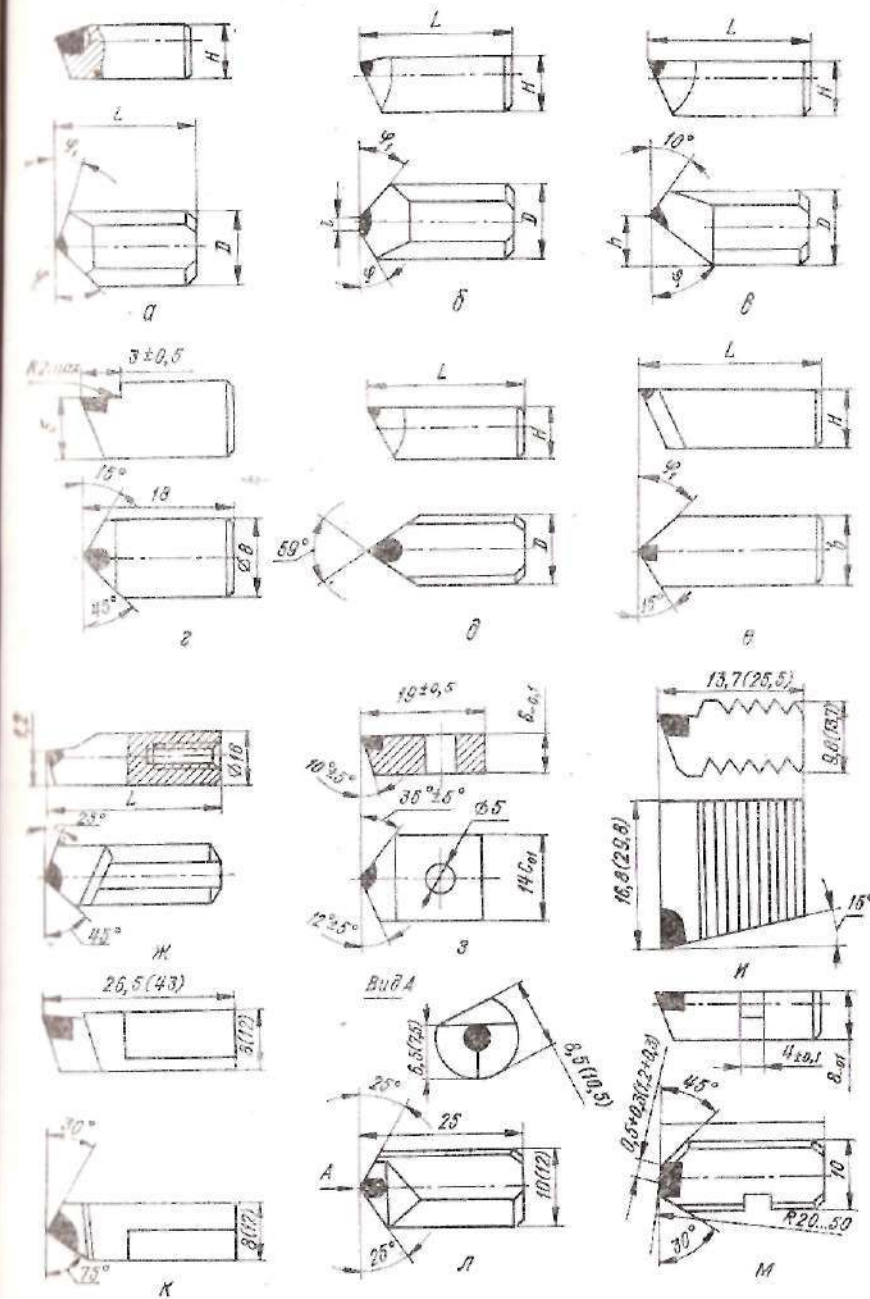


Рис. 4. Сменные вставки, оснащенные ПСТМ

15. Цилиндрические вставки с режущим элементом из ПСТМ

Тип вставки	D , мм	H , мм	L , мм	l (6), мм	Ψ , ...	Ψ_1 , ...	Марка ПСТМ
Прокладная (рис. 4, а)	3,6	3,3	4	—	45	15	K01, K10
	5	4,5	8	—	45	15	
	7	5,9	18	—	45	15	
	8	6,4	12, 15, 20, 25	—	45	15	
	9	6,9	30, 35	—	15	45	
	10	7,4; 8	15, 40	—	15	30	
	12	8,4; 10	20, 60	—	50	50	
	16	10,4; 12	20, 80	—	50	50	
	20	16	100	—	50	50	
Специальная (рис. 4, б)	8	6,4	25, 35	1	15	45	K01
	10	7,4	35, 45	0,5; 1; 1,5	15	45	
	12	8,4	35, 45, 55	1	15	45	
	16	10,4	70, 90	1	15	45	
	10	7,4	25	0,5; 1; 1,5	45	15	
	8	6,4	25, 35	1	37	53	
	12	8,4	35, 45, 55	1	37	53	
	16	10,4	70, 90	1	37	53	
Фасонная (рис. 4, в)	8	6,4	12	(5,0)	30,45	10	K01
	9	6,9	15	(5,5)			
	10	7,4	15	(6,0)			
Резьбовая (рис. 4, д)	8	6,5	12, 16	—	60,5	60,5	K10
	9	7,0	12, 16	—	60,5		
	10	8,0	15	—	60,5		

16. Прямоугольные проходные вставки с режущим элементом из композита 10, мм

B	H	L
8	8	32
10	10	40, 50
12	12	65
16	16	80
20	20	80

Примечание. Для всех вставок угол в плане $\Phi_1 = 30$ или 45° .

На рис. 3 показана система условных обозначений режущих пластин из ПСТМ по ГОСТ 19042—80 (СТ СЭВ 555—77), разработанного на основе стандарта ISO 1832 [24].

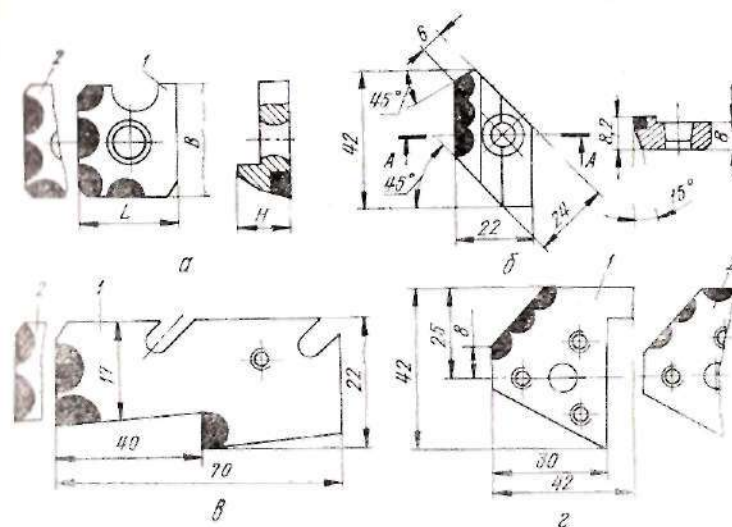


Рис. 5. Многокристалльные ножи из ПСТМ:
1, 2 — различные исполнения ножей

При обозначении режущей пластины из ПСТМ указывают: форму, задний угол, класс точности пластины, тип пластины, длину режущей кромки L , толщину s и радиус r при вершине пластины, а также исполнение пластины и марку ПСТМ. Различают четыре исполнения режущих пластин: цельные (М), двухслойные (Д), составные с монокристаллом (З) и двухслойным (С) поликристаллом.

Пример условного обозначения цельной пластины из композита 05 ромбической формы, без заднего угла, нормальной точности, без стружколомирующих канавок, с длиной режущей кромки 9 мм, толщиной 4,76 мм и радиусом при вершине 0,6 мм: CNUN — 090406-MK05.

Конструктивные параметры сменных многогранных пластин из ПСТМ регламентируются ТУ 2-035-808—81 «Пластин режущие сменные многогранные из сверхтвердых материалов» и РТМ 23.5.64—76 «Инструмент лезвийный с рабочими элементами из поликристаллических сверхтвердых материалов для обработки деталей тракторов и сельскохозяйственных машин».

В табл. 13 приведены типоразмеры сменных многогранных пластин из ПСТМ, выпускаемых отечественными и зарубежными инструментальными предприятиями и фирмами [51—55].

Изготавливаются также пластины из ПСТМ нестандартных форм (табл. 14 [51—55]).

Сменные вставки, оснащенные ПСТМ, предназначены для закрепления в корпусах сборного лезвийного инструмента, оправках, бор-танках. Наиболее распространенные конструкции вставок показаны на рис. 4. Цилиндрические вставки предназначены для проходных (рис. 4, а, б), специальных (рис. 4, в), фасонных (рис. 4, г) и резьбовых (рис. 4, д) резцов. Типоразмеры цилиндрических вставок из ПСТМ приведены в табл. 15. Прямоугольные вставки (рис. 4, е) выпускаются для

17. Сменные многокристалльные ножи и концевые фрезы из ПСТМ, мм

B	H
18—0,43	8,5—0,36
22—0,52	10—0,36
23—0,52	
30—0,52	12—0,43
32,5—0,62	
33—0,62	
35—0,64	
40—0,62	

Примечание. Для всех ножей $L = 21 \pm 0,013$ мм.

крепления в борштангах и оправках станков (табл. 16). Изготавливаются также проходные вставки с резьбовым отверстием (рис. 4, ж) плоские вставки с отверстием (рис. 4, з), вставки-ножи (рис. 4, и) вставки-резцы (рис. 4, к) к комбинированному расточному инструменту, работающему в условиях гибкого автоматизированного производства. Инструментальными заводами освоено выпуск фрезерных вставок, оснащенных ПСТМ (рис. 4, л, м).

Особой группой сменных вставок, оснащенных ПСТМ, являются многокристалльные ножи. Различают многокристалльные ножи к концевым фрезам (рис. 5, а, табл. 17) и проходным резцам (рис. 5, б), комбинированному инструменту типа «сверло-сверло» (рис. 5, в) и «сверло-зенкер» (рис. 5, г).

РЕЗЦЫ, ОСНАЩЕННЫЕ ПСТМ

Наиболее распространенным видом режущего инструмента, оснащенного ПСТМ, являются резцы. Они используются для наружного точения, растачивания и различных специальных операций (прорезание канавок, резьбопозирование и т. п.) [7, 20].

На рис. 6 показана система условных обозначений токарных резцов по ГОСТ 26476-85 (СТ СЭВ 4599-84), разработанному на основе стандарта ISO5608.

При обозначении резцов для наружного точения, оснащенных ПСТМ, указывают: способ крепления режущего элемента, форму пластины, главный угол в плане, задний угол, тип резца, высоту и ширину державки, общую длину резца и длину режущей кромки.

Различают следующие способы крепления режущих элементов из ПСТМ: крепление пластин прихватом сверху (способ С), крепление режущих элементов через центральное отверстие (способ Р), крепление прихватом (способ М), центральным винтом (способ S), крепление режущих элементов без отверстия по боковым поверхностям (способ D), крепление режущих элементов неразъемными методами (способ В).

Условное обозначение резца CSBNR2525M10 расшифровывается следующим образом: способ крепления — прихватом сверху; форма пластины — квадратная; главный угол в плане — 75°; пластина без заднего угла; тип резца — правый проходной; сечение державки — 25 × 25 мм; длина резца — 150 мм; длина режущей кромки — 10 мм.

Для расточных резцов порядок условных обозначений несколько изменяется: тип державки, диаметр державки, длина резца, способ крепления режущего элемента, форма пластины, главный угол в плане, задний угол режущего элемента, тип резца, длина режущей кромки.

Условное обозначение резца S25R — CSBNR10 читается так: тип державки — цельная стальная; диаметр державки — 25 мм; длина резца — 200 мм; способ крепления — прихватом сверху; пластина — трехгранная; главный угол в плане — 75°; пластина без заднего угла; тип резца — правый проходной; длина режущей кромки — 10 мм.

Выпускаются цельные резцы, резцы с механическим креплением сменных вставок и режущих пластин из ПСТМ. По числу поликристаллов, образующих режущую кромку, резцы делятся на однокристалльные и многокристалльные.

Наиболее резцы из ПСТМ (рис. 7) можно разделить на группы по следующим признакам: по типу державки — прямые (рис. 7, а—в, е, и—м) и отогнутые (рис. 7, г, ж, з, в), прямоугольного (рис. 7, а—д, к) и круглого (рис. 7, е—и, л—м) сечения;

по назначению — проходные (рис. 7, а, б), проходные упорные (рис. 7, в), подрезные (рис. 7, д), расточные (рис. 7, е—ж), галтельные (рис. 7, и), канавочные (рис. 7, к), для резки (рис. 7, л, м) и скрайбирования.

В табл. 18 приведены типоразмеры резцов из ПСТМ с прямоугольной державкой для наружного точения и подрезки торца, в табл. 19 — типоразмеры резцов для алмазно-расточных (рис. 7, г) и координатно-расточных (рис. 7, ж, з) станков.

Опытным заводом ИСМ АН УССР освоено выпуск резцов из ПСТМ для резки пластин из полупроводниковых материалов, ситалла и стекла (рис. 7, л, м) и резцов для скрайбирования этих материалов.

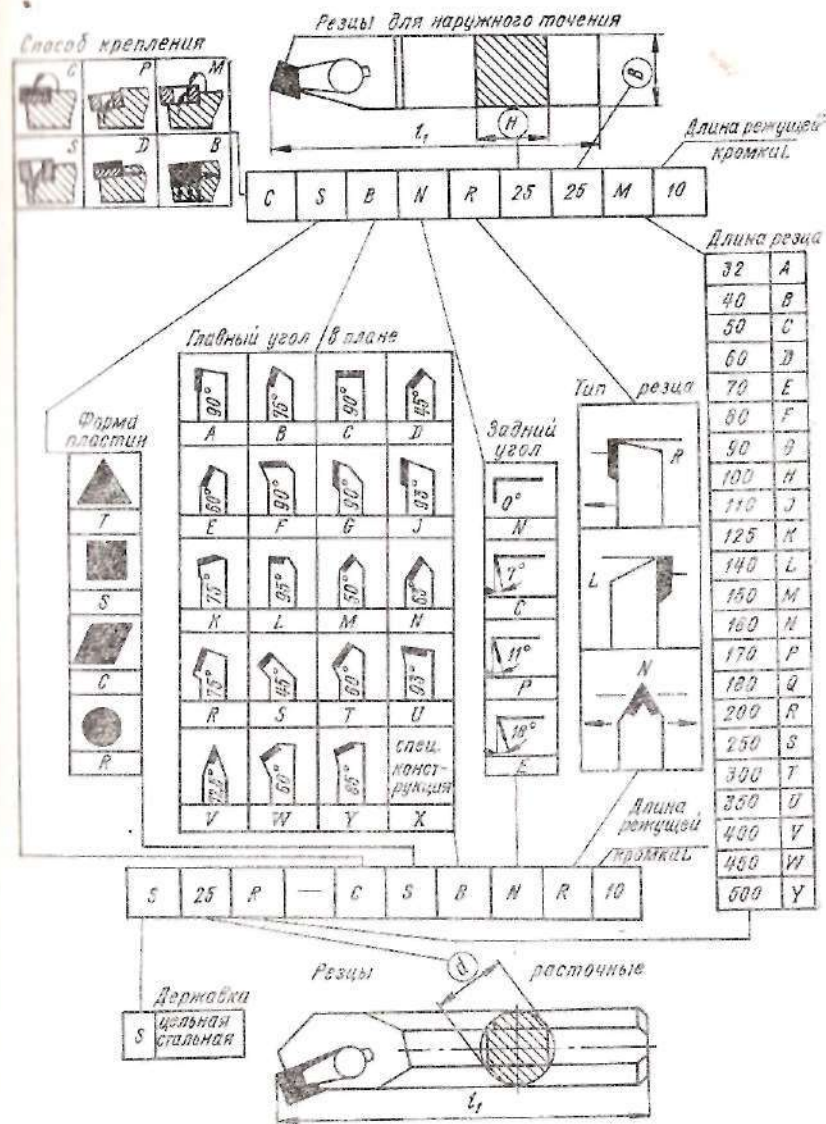


Рис. 6. Система условных обозначений резцов из ПСТМ

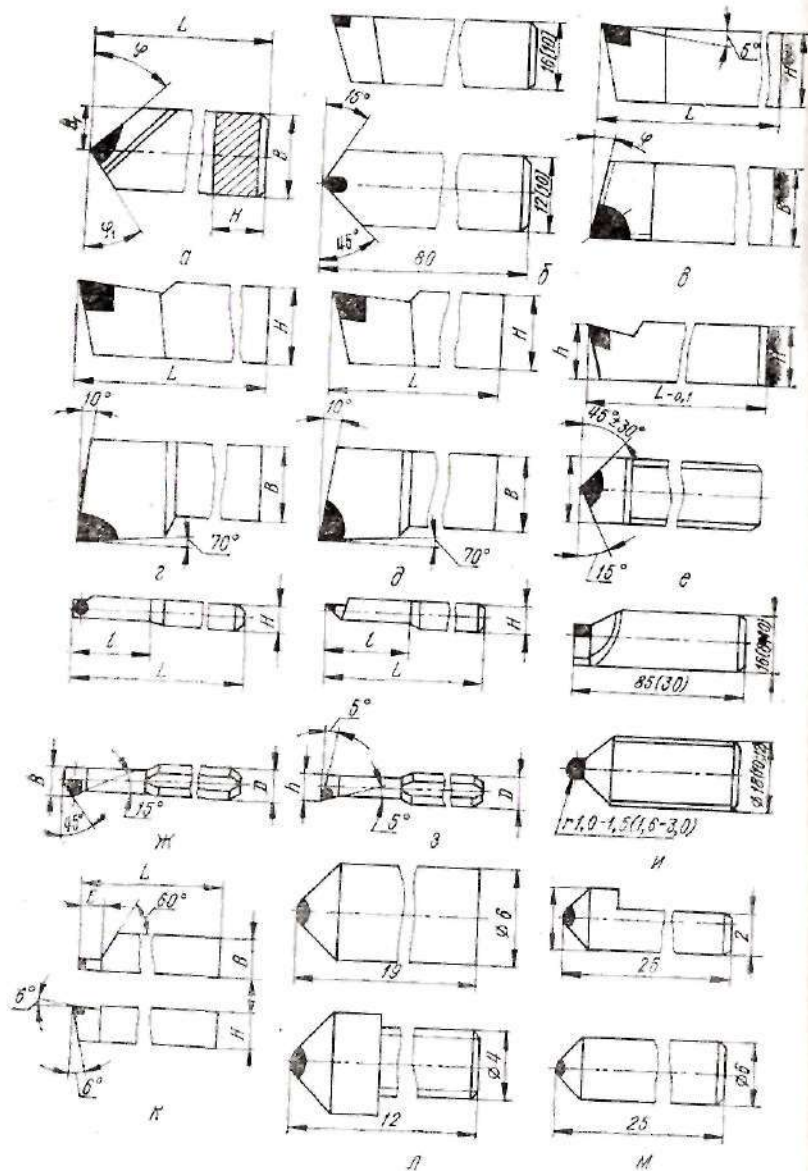


Рис. 7. Напайные резцы, оснащенные ПСТМ

Токарные резцы из ПСТМ с прямоугольной державкой

Тип резца	B, мм	H, мм	L, мм	B ₁ , мм	Ф ₁ ...°	Ф ₂ ...°	Марка ПСТМ
Прогонной	8	8	40	5,5	45	55	А06
	10	10	50	6,5			
	13	13	55	10			
	16	16	60	11			
	16	16	80	11			
	19	19	95	13			
	25	25	110	18			
	12	12	55		40	60	
Подрезной	8	8	40	—	93	10	А06 К10
	10	10	50				
	16	16	80				
	25	25	110				

Расточные резцы из ПСТМ для алмазно-расточных координатно-расточных станков [24]

B, мм	H, мм	L, мм	l, мм	h, мм	Ф ₁ ...°	Ф ₂ ...°	Марка ПСТМ
8	6	40	15, 20	—	45, 75	15	К01, К10
10	8						
8	6						
10	8	50	20, 25	—	95	5	А06
12	10						
14	12	40	—	7	45	15	А06
10	8			8			
12	10			8			
16	14			11			

Резцы с механическим креплением сменных вставок из ПСТМ (рис. 8) являются на резцы с креплением вставок прихватом сверху (способ С, рис. 8, а—ж) и по боковой поверхности (способ D, рис. 8, а—к). Сменная вставка из ПСТМ 2 устанавливается в державке 1 и крепится прихватом 3 при помощи винта 4. Прихват 3 контактирует непосредственно с державкой или через промежуточную опору 5. Установка вылета вставки может осуществляться регулировочным винтом 6. На рис. 8, в показан резец с механическим креплением сменных вставок при помощи цангового зажима. Вставка 2 устанавливается в цанге 8, закрепляемой в корпусе 7 при помощи гайки 9.

Сменные вставки крепятся прижимом по боковой поверхности при помощи боковых горизонтальных винтов (рис. 8, а), боковых вертикальных винтов со фторцеской проточкой (рис. 8, в), боковых и задних винтов (рис. 8, к). В табл. 20 приведены типоразмеры токарных сборных резцов с механическим креплением переставляемых цилиндрических вставок с режущими элементами из композита 01 и композита 10, выпускаемых Ленинградским заводом «Инструмент» и Борисовским инструментальным заводом.

Резцы с механическим креплением пластин из ПСТМ (рис. 9, 10) достаточно широко представлены в номенклатуре инструментальной промышленности. Наиболее распространенными являются резцы с креплением пластин

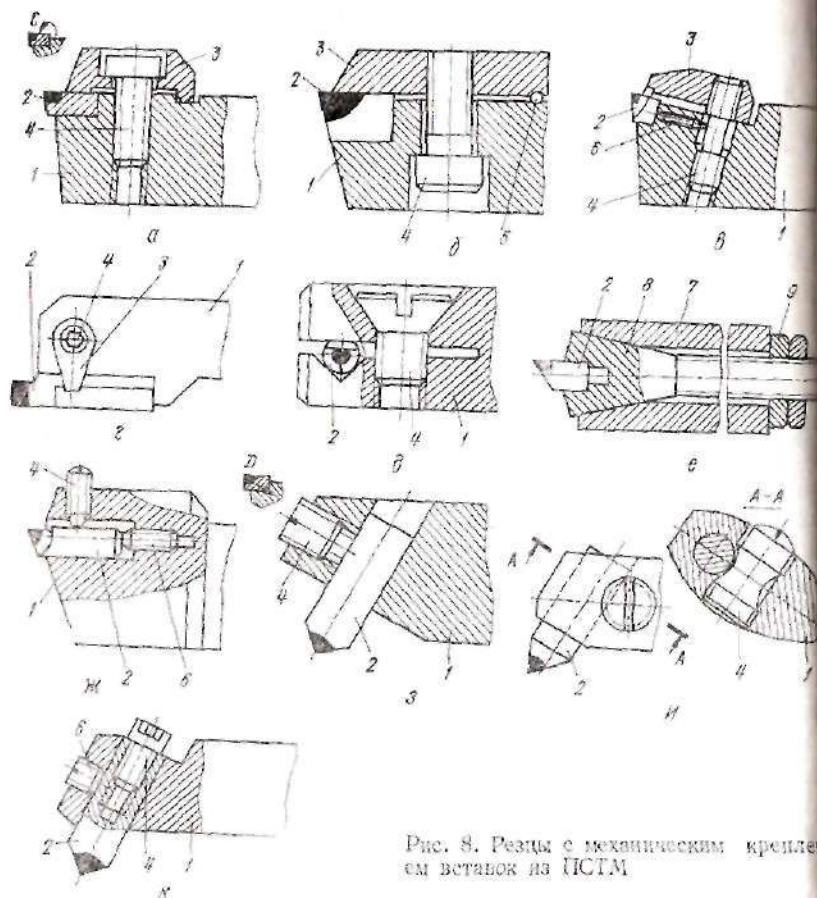


Рис. 8. Резцы с механическим креплением вставок из ПСТМ

20. Токарные сборные резцы с механическим креплением перетачиваемых цилиндрических вставок из композитов 01 и 10

Тип резца	B, мм	H, мм	L, мм	$\varphi_1, \dots^\circ$	$\varphi_2, \dots^\circ$
Преходной	16	16	109	45	15
Подрезной	20	20	125	93	5
Расточной	16 20	16 25	125 170	45	5

прихватом сверху (рис. 9). Резец имеет державку 1, режущую пластину 2, прихват 3, винт 4 и пружину 5 (рис. 9, а). У токарного резца с боковыми базами, расположенными на корпусе и прихвате, на зажимном винте 4 находится шайба 6 (рис. 9, б).

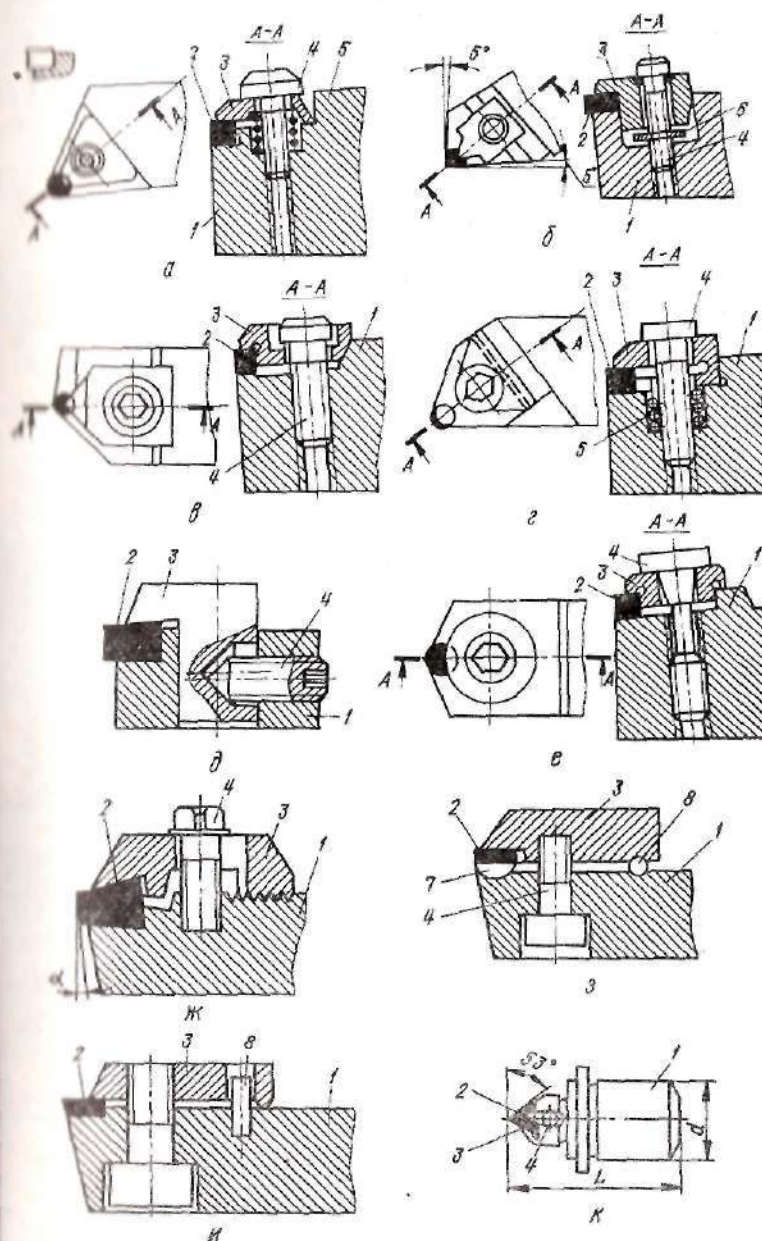


Рис. 9. Резцы с механическим креплением пластины из ПСТМ прихватом сверху

Ряд конструкций различается схемой закрепления и базирования пластины: клиновой прихват (рис. 9, а), упругий прихват (рис. 9, б) с боковыми базами для установки пластины, Г-образный прихват с цилиндрической направляющей частью и установкой пластины в полуоткрытый паз державки (рис. 9, в), цилиндрический прихват с упругим винтом и установкой пластины в полуоткрытый паз (рис. 9, г), прихват с рифлениями для крепления конических режущих элементов из СТМ в открытый паз (рис. 9, ж), прихват-планка с опорой 8 в открытом пазе и установкой пластины на сферическую опору 7 (рис. 9, з), непосредственно в державку (рис. 9, и). На рис. 9, к показана конструкция микробора с креплением пластины ПСТМ в открытом пазах корпуса прихватом сверху. Микроборы, оснащенные ПСТМ, выпускают

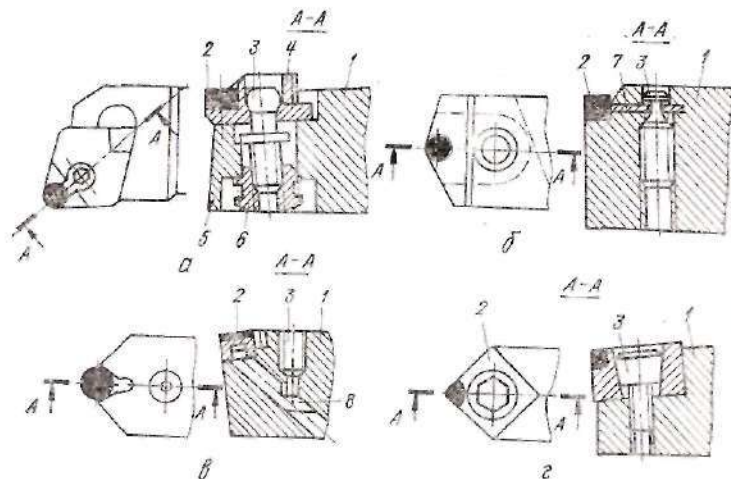


Рис. 10. Резцы с механическим креплением пластин из ПСТМ различными способами

диаметрами $D = 22...32$ мм и длинами $L = 45...65$ мм для минимального диаметра расточки 40–60 мм.

Известен также ряд конструкций резцов с механическим креплением пластины из ПСТМ с использованием других способов крепления (рис. 10). На рис. 10, а показана схема резца с креплением за боковые поверхности пластины (способ D). В паз державки 1 вставляется упругая переходная пластина 4, в паз которой устанавливается режущая пластина 2. В отверстие упругой пластины 4 входит головка винта 3, закрепленного в державке при помощи гайки 6 и пружины 5. При закручивании винта его буртик упирается в выступ державки. При этом головка винта поджимает упругую пластину к базовым поверхностям державки, обеспечивая закрепление пластины.

В резце, показанном на рис. 10, б, зажим режущей пластины 2 осуществляется сепаратором 7, который затягивается винтом 3 державки 1.

Имеются также конструкции резцов с механическим креплением пластины при помощи косой тиги 8 (способ P) через отверстие в подложке двухслойных пластин из ПСТМ (рис. 10, в) и центрального винта через отверстие режущего элемента, оснащенного ПСТМ (рис. 10, г, способ S).

В табл. 21 приведены типоразмеры токарных сборных проходных, а в табл. 22 — токарных сборных расточных резцов с механическим креплением квадратных (K05, $\varphi = 45$ и 75°), трехгранных (K05, $\varphi = 93^\circ$), ромбических (K05, K10D, $\varphi = 95^\circ$) и круглых (K01, K05, K10D) режущих пластин (ТУ 2-335-811–81).

В табл. 23 представлены типоразмеры резцовых вставок типа T-MAX с механическим креплением круглых пластин из композита 01 и ромбических пластин из композита 05 с главным углом в плане $\varphi = 95^\circ$.

21. Токарные сборные проходные резцы с механическим креплением пластин из композита

D , мм	H , мм	L , мм	φ , ...°	Форма пластины	Марка ПСТМ
10	10	50	45, 60	Ромбическая	K05
12	12	40, 50, 63			
16	16	63			
20	20	80			
25	25	80			
20	20	125	—	Круглая	K01, K05, K10, K10D
25	25	150			
25	32	170			
32	32	170	—		
20	20	125	75, 45	Квадратная	K05
25	25	150			
25	32	170			
32	32	170			
10	20	125	93	Треугольная	K05
25	25	150			
25	32	170			
32	32	170			
20	20	125	75, 95	Ромбическая	K05, K10D
25	25	150			
25	32	170			
32	32	170			

22. Токарные сборные расточные резцы с механическим креплением пластин из композита, мм

D	L	H	h	$D_{\min}$
20	200	18	9	25
25	250	23	11,5	32
32	300	30	15	40

23. Резцовые вставки типа T-MAX S с механическим креплением пластин из композита, мм

B	H	L	h
12	11	50	10
16	16	55	12
20	20	63	16

На рис. 11 показаны многокристальные резцы из ПСТМ. Многокристальный резец состоит из корпуса 1, режущих элементов 2, крепежных винтов 3 и прихвата 4. По заказам потребителей Ленинградский завод «Инструмент» выпускает токарные, проходные резцы с механическим креплением круглых пластин из композита 05 (рис. 11, а) для обработки прокатных валков с глубиной резания 6–8 мм [6, 7]. На рис. 11, б приведен типичный двусторонний резец с механическим креплением круглых пластин из композита 10Д для обработки деталей из закаленных сталей и чугунов.

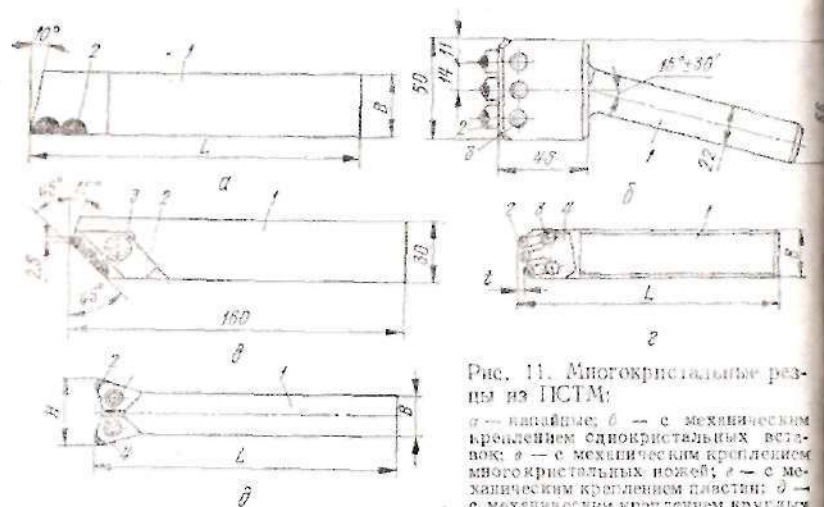


Рис. 11. Многокристалльные резцы из ПСТМ:
а — напайные; б — с механическим креплением однокристалльных вставок; в — с механическим креплением многокристалльных ножей; г — с механическим креплением пластин; д — с механическим креплением круглых пластин

ФРЕЗЫ, ОСНАЩЕННЫЕ ПСТМ

Фрезы, оснащенные ПСТМ, являются вторым по применяемости типом инструмента после резцов с поликристаллическими режущими элементами. Различают торцовые, концевые, дисковые и червячные фрезы с режущей частью из ПСТМ [9, 19].

Торцовые фрезы — наиболее распространенный вид фрезерного инструмента из сверхтвердых материалов (рис. 12). Выпускают торцовые фрезы с механическим креплением вставок (рис. 12, а, в, к), круглых (рис. 12, б) и многогранных режущих пластин (рис. 12, б, д—и); «прямые» (рис. 12, а, б, г—к) и «обратные» (рис. 12, в); насадные (рис. 12, а, г—к) и хвостовые (рис. 12, б, в); однозубые (рис. 12, е) и многозубые; однорядные (рис. 12, а) ступенчатые (рис. 12, и) и многорядные (рис. 12, д); фрезы для обработки открытых (I), полузакрытых (II) и закрытых (III) поверхностей (рис. 12).

Наиболее распространены в настоящее время торцовые сборные регулируемые фрезы (рис. 12, а) со вставками, оснащенными композитами 01, 1 или СКМ-Р. Фреза состоит из корпуса 1 и режущих вставок 2, закрепленных в корпусе специальными винтами 3. Последние, в свою очередь, состоят из корпуса 4, шарика 5 и пята 6 с установленной в ней пружинкой 7. Регулирование торцового биения вставок производится после отпущения винта при помощи специального ключа 8 через отверстие в корпусе фрезы при воздействии на паз фрезерной вставки. Фрезы данной конструкции диаметром 80—200 мм с ножами из композита 01 выпускаются Сестрорецким инструментальным заводом им. Воксена (ТУ 2-035-918—83).

Московским заводом режущих инструментов «Фрезер» им. М. И. Калинина освоено выпуск торцовых насадных (однорядных и ступенчатых) фрез диаметром 100—800 мм с механическим креплением пластин. Они обеспечивают регулирование в осевом направлении положения режущих круглых пластин из композита 05, 10 или 10Д. Выпускаются также торцовые насадные регулируемые фрезы диаметром 100—400 мм (ТУ 2-035-757—80).

Сестрорецкий инструментальный завод выпускает торцовые насадные нерегулируемые ступенчатые фрезы с механическим креплением пластин круглой формы из композита 05 диаметром 100—400 мм (ТУ 2-035-713—80).

Разработана конструкция плавнорегулируемой торцевой фрезы с механическим креплением вставок, оснащенных ПСТМ [1]. Вставка 1 с резьбовым отверстием в торце (рис. 13) крепится в корпусе фрезы 4 при помощи планки 6 и прижимных винтов 3. Щиток 5 устанавливается на корпусе при помощи

пружин 8 и регулировочных пластинок 7 и зажимается болтами 10. Регулирование радиального и торцового биений фрезы осуществляется регулировочными винтами 2 и 9. Конструкция позволяет осуществлять регулирование радиального и торцового биений в пределах 0,02—0,05 мм.

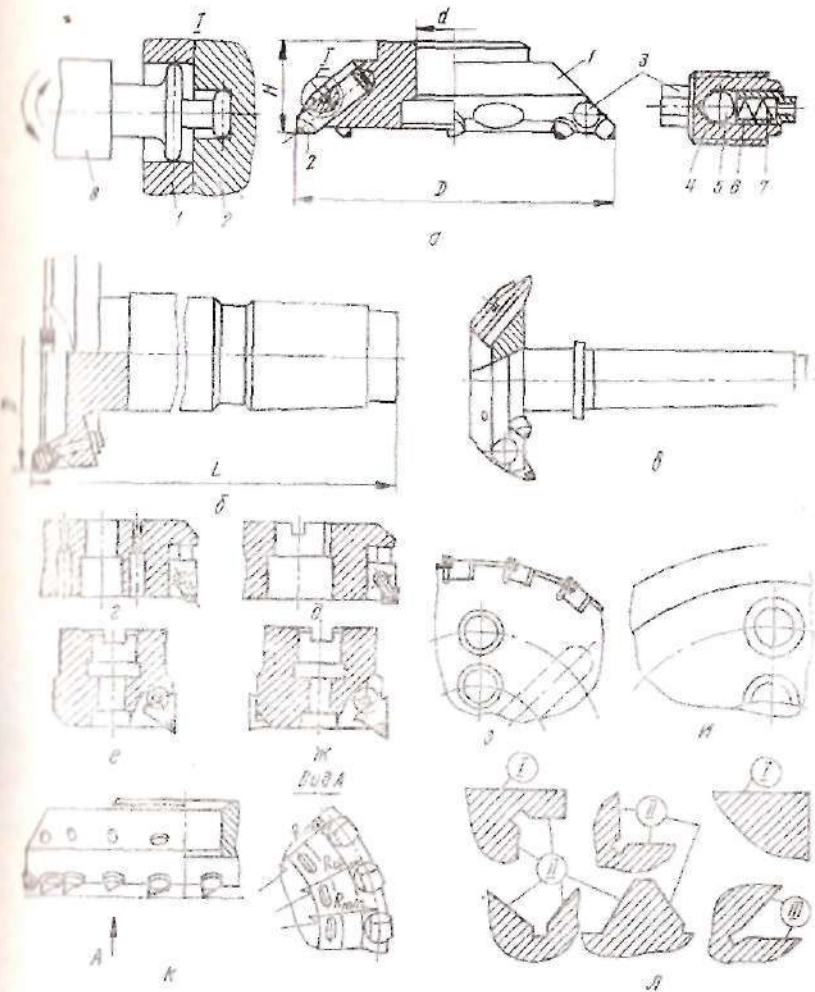


Рис. 12. Торцовые фрезы, оснащенные ПСТМ

На рис. 14 показаны способы закрепления режущих элементов на ПСТМ: вставок (рис. 14, а—к) и пластин (рис. 14, л—р). Режущий элемент 2 крепится в корпусе фрезы 1 тангенциально (рис. 14, а) или радиально (рис. 14, б) расположенным винтом 3. Крепление фрезерных вставок в однозубых летучках (дважды винтами сверху) представлено на рис. 14, в. Крепление вставки клином 4 при вращении винта 3 (рис. 14, г) обеспечивает достаточно высокую надежность закрепления вставок 2, регулируемых винтом 3. В конструкции, представленной на рис. 14, д, крепление вставки 2 в корпусе 1 осуществляется тангенциальным винтом 3, а регулирование вылета вставки — винтом 5. В фрезе конструкции ГДР (рис. 14, е) на корпус 1 устанавливается

кольцо 6 с пластиной 7, осуществляющей закрепление вставки 2. Торцовое биение регулируется винтом 3 через штифт 8, а радиальное — вращением эксцентрика 9.

На рис. 14, ж—к показаны способы крепления режущих вставок в червячных фрезех из ПСТМ соответственно обратным и прямым клином 4 и поворотным штифтом 10, гибкой стеной.

Режущие пластины в основном крепятся в корпусах фрез при помощи авсетов 11 (рис. 14, л), устанавливаемых в корпусе фрезы на штифте 14 и закрепляемых винтами 12 и клин-прихватами 15. Прижим пластин к кассете осуществляется прихватом 13. Известен способ крепления (рис. 14, м), при котором пластина располагается в призматических пазах, выполненных в корпусе фрезы, и на кассете. В нерегулируемых ступенчатых фрезех с пластинами из композита используется способ закрепления пластин цилиндрическим

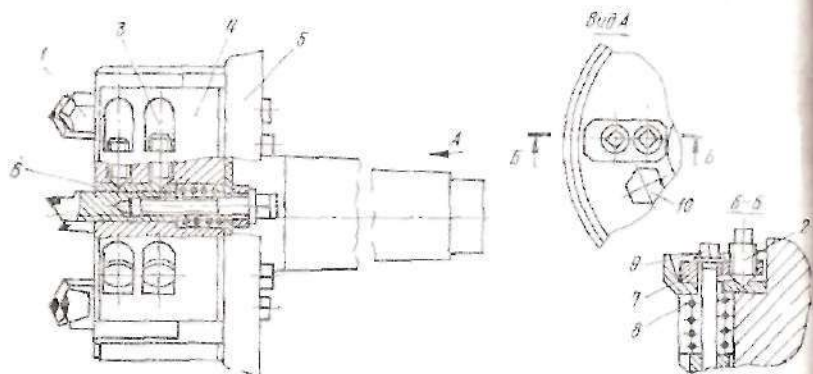


Рис. 13. Плавнорегулируемая торцовая фреза с механическим креплением вставок, оснащенных ПСТМ

ским клином-прихватом 15, затягиваемым гайкой 16 (рис. 14, л), или цилиндрическим винтом со скосом 17, предохраняемым от проворота штифтом 14 (рис. 14, о). Режущая пластина 2 при этом устанавливается на опору 18. В торцовых фрезех фирмы «Plansee» (Австрия) применяется способ крепления пластины в кассетах прихватом сверху. При этом кассета к корпусу крепится при помощи «прямого» клина (рис. 14, п). В фрезех фирмы «Walter» (ФРГ) кассеты с пластинами крепятся в корпусе упругим штифтом 20. Сама пластина в кассете удерживается прихватом сверху (рис. 14, р) [45].

Отдельной группой фрез, оснащенных ПСТМ, являются концевые фрезы для обработки пазов, уступов и других полукруглых и закрытых поверхностей (рис. 15).

Разработана конструкция концевых фрез, оснащенных сменными многокристаллическими ножами из синтетических алмазов, серийное производство которых введено ПЗНА и АИ и ХИЗом (ТУ 2-035-1023—85). Эти фрезы имеют диаметр 40,2 и 55,3 мм, длину режущего элемента 15 мм, общую длину 230 мм. На рис. 15, а, б показаны схема расположения элементов и общий вид концевой фрезы со сменными многокристаллическими ножами из ПСТМ. Корпус 1 имеет базовые поверхности для установки сменных ножей 2, 3 (рис. 15, а). Они крепятся к корпусу винтами с конической головкой 4 через фасонное отверстие в ноже или прижиме 5.

Западными фирмами освоено производство концевых фрез (напайных многокристаллических), оснащенных ПСТМ (рис. 15, в), однокристаллических (рис. 15, г), с механическим креплением сменных пластин с запаянным поликристаллом (рис. 15, д) и цельных пластин ПСТМ (рис. 15, е.) В табл. 24 приведены типоразмеры концевых фрез, выпускаемых западными фирмами.

Инструмент на основе ПСТМ применяется также для обработки пазов в деталях из труднообрабатываемых материалов (рис. 16) [43]. Двухосевые фрезы

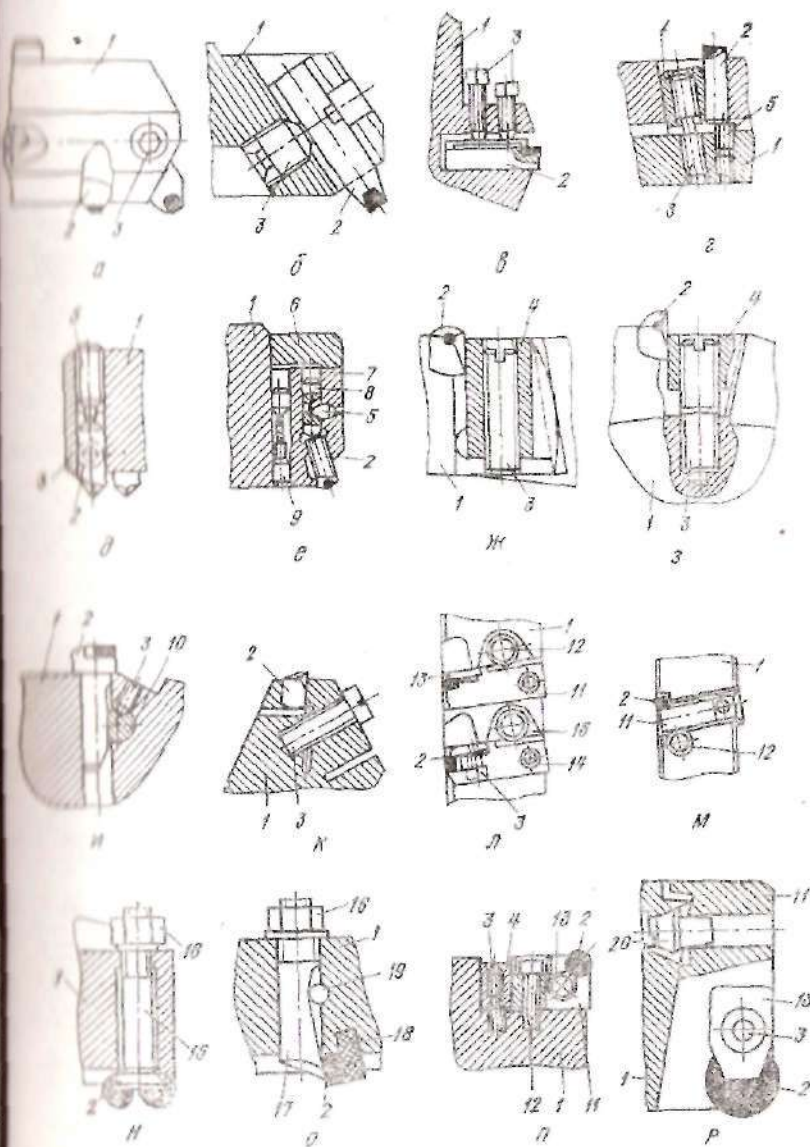


Рис. 14. Способы закрепления режущих элементов из ПСТМ в инструментах фрезерной группы

(рис. 16, а) и пилы (рис. 16, б), оснащенные ПСТМ, выполняются из монолитных или двухслойных режущих элементов. Они крепятся методом пайки с последующей заточкой режущих элементов. Выпускаются дисковые фрезы

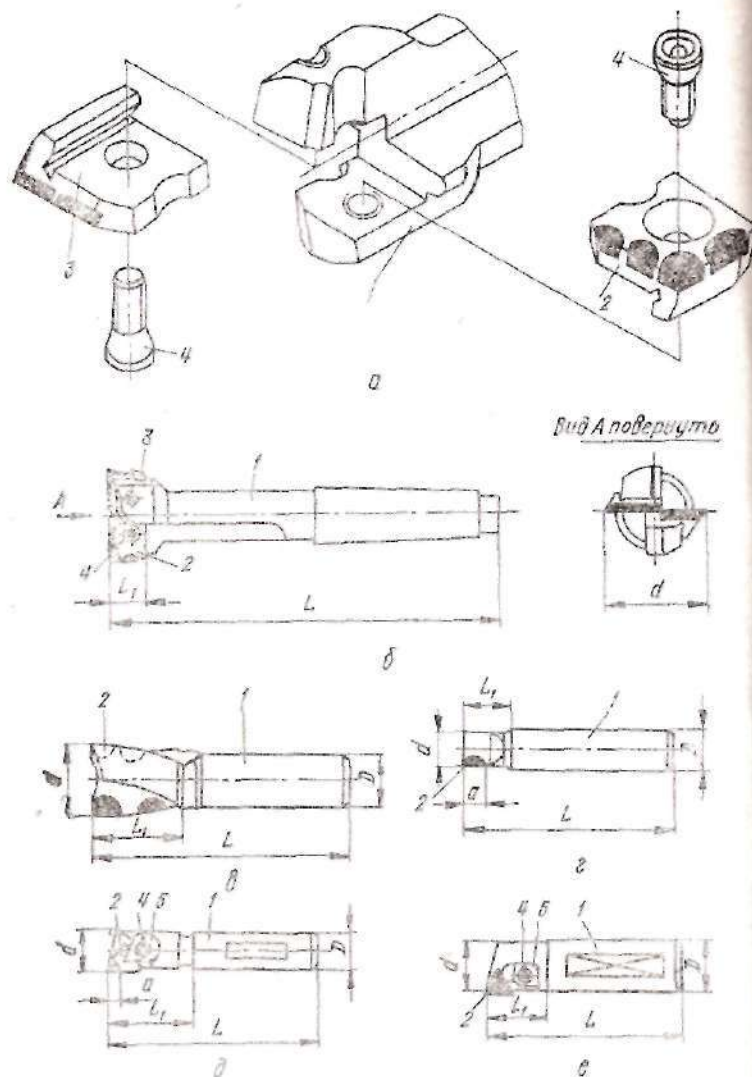


Рис. 15. Концевые фрезы, оснащенные ПСТМ

с механическим креплением сменных вставок, оснащенных композитами 01 и 01, для обработки наплав в деталях из закаленных сталей (рис. 16, а). Оным заводом ИСМ АН УССР выпускаются дисковые пилы прямого профиля (рис. 16, а, б). Фирмой НАМ освоено выпуск дисковых фрез со специальными формами режущей части (рис. 16, а—д).

В табл. 25 приведены типоразмеры дисковых пил, оснащенных поликристаллами композитов 01 и 05-НГ (ТУ 88 УССР ИСМ 839—82).

Концевые фрезы из ПСТМ, выпускаемые зарубежными фирмами, мм

Тип фрезы	d	D	L	L ₁	a	Марка ПСТМ	Фирма-изготовитель
14, а	8—25 10—63	8—25 10—32	50—75 70—170	7,5—12,5 18—90	— —	A11	НАМ
14, б	6—25 6—12	12—32 6—12	50—125 40—55	20—25 10—15	7,5—12,5 4	K15	"Sumitomo"
14, в	12—40	12—32	70—90	25—34	6—8	A11	НАМ
14, г	20—38	20—32	100	30	4—6	K15	"Sumitomo"

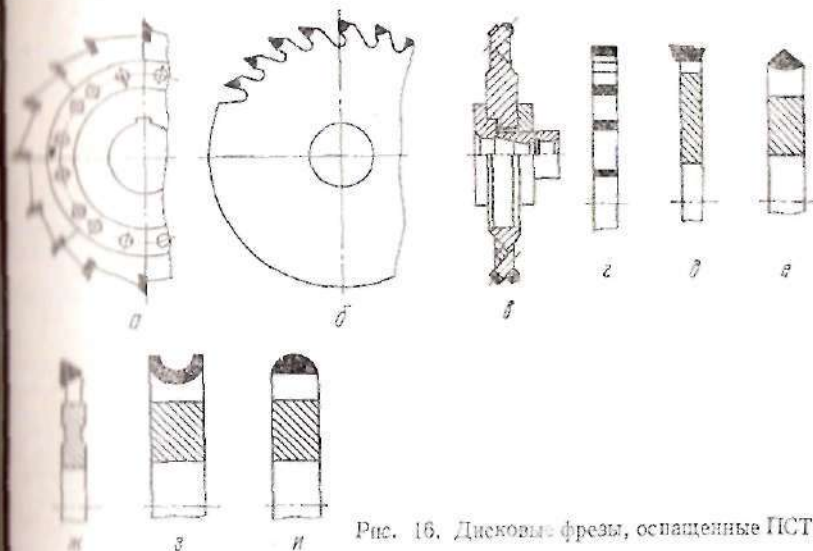


Рис. 16. Дисковые фрезы, оснащенные ПСТМ

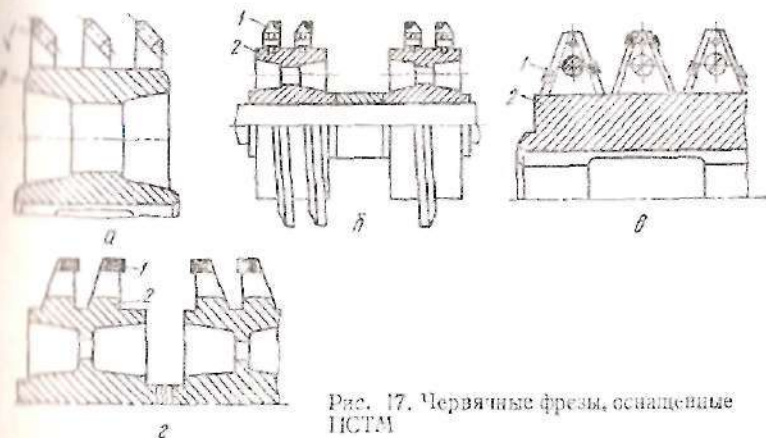


Рис. 17. Червячные фрезы, оснащенные ПСТМ

25. Дисковые пилы, оснащенные ПСТМ:

Диаметр, мм	Толщина корпуса, мм	Ширина зубьев, мм	Число зубьев, мм	Диаметр, мм	Толщина корпуса, мм	Ширина зубьев, мм	Число зубьев, мм
320	2,8	5,6; 5,2	48	450	3,0	5,8	72
400	3,0	5,6; 5,2	60	500	3,0	6,2	60; 72

Червячные зуборезные фрезы, оснащенные режущими элементами ПСТМ, работают по двум принципиально отличным друг от друга схемам резания — кромочной (рис. 17, а, б, в) и профильной (рис. 17, г). По типу режущих элементов червячные фрезы делятся на фрезы с механическим креплением сменных вставок (рис. 17, а, б) и пластины (рис. 17, в, г). Конструктивно червячные фрезы могут состоять из одной (рис. 17, а, б) и двух (рис. 17, в, г) полуфрез. Режущая часть фрезы выполняется из ПСТМ на основе нитрида бора (композиты 01, 10 и др.). Полукристаллы располагаются в корпусе таким образом, чтобы обеспечить взаимное перекрытие режущих кромок и снятие требуемого припуска на заданной длине обрабатываемой поверхности. Способы закрепления режущих элементов в червячных фрезах, оснащенных ПСТМ, показаны на рис. 14, ж-к, о.

СВЕРЛА, ЗЕНКЕРЫ, РАЗВЕРТКИ

Инструмент для обработки отверстий, оснащенный ПСТМ, не получил достаточно широкого распространения. Несмотря на это, именно в процессе обработки отверстий (особенно малых диаметров) наиболее полно реализуются преимущества такого инструмента [55].

26. Сверла с механическим креплением сменных многокристаллических ножей из ПСТМ, мм

D	L
30,2; 38,2; 40,2	275
50,2; 55,3; 60,3; 70,3	300

На рис. 18 показаны сверла, оснащенные ПСТМ. Разработана конструкция сверла с механическим креплением сменных многокристаллических ножей из ПСТМ. Схема расположения элементов и общий вид сверла представлены на рис. 18, а, б. Сменные ножи 2, 3 устанавливаются в корпус 1 сверла, крепятся винтами 4 к корпусу через фасонные отверстия. Сверла выпускаются на ТУ 2-035-1023-85 ПЗИА и АИ в Харькове инструментальным заводом (табл. 2).

27. Сверла, оснащенные из ПСТМ, фирмы НАМ, мм

Тип	D	L	f	a
Однокромочное	0,8—1,5	38	5—6	3,0
	3—10	50—75	15—30	6—10
Спиральное	0,8—1,2	38	6—10,5	3,0
	4—12	75—100	20—40	4—12
	5—13	50—151	25—101	5—13

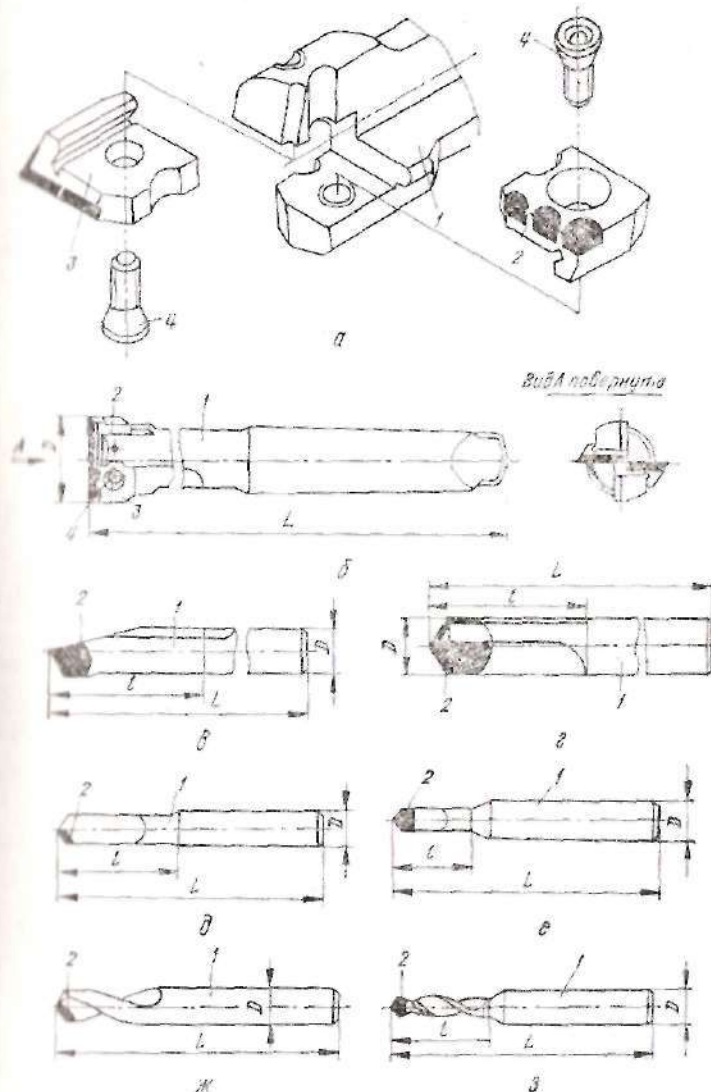


Рис. 18. Сверла, оснащенные ПСТМ

На рис. 19 показаны зенкеры, оснащенные ПСТМ. Зенкер (рис. 19, а) состоит из корпуса 1 и сменных многокристаллических ножей 2, соединенных между собой штифтами 4 и прикрученных к корпусу винтом 3.

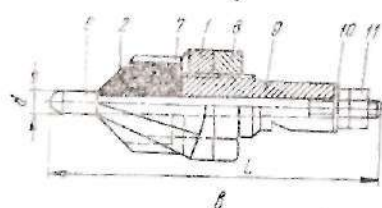
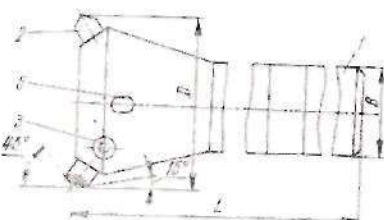
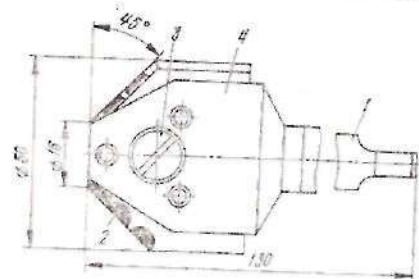


Рис. 19. Зенкеры, оснащенные ПСТМ

типоразмеры разверток, оснащенных ПСТМ.

Разработан инструмент для обработки отверстий с механическим креплением сменных многокристаллических ножей из ПСТМ: сверло-зенковка

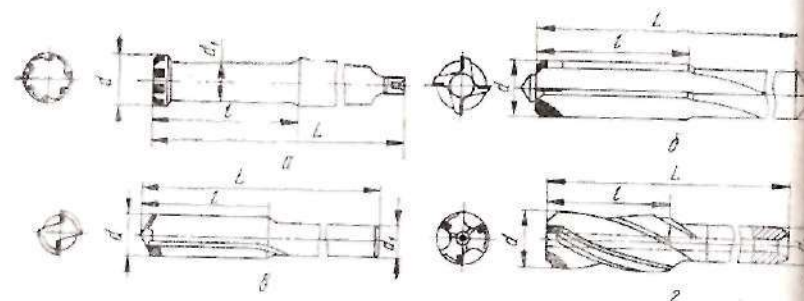


Рис. 20. Развертки, оснащенные ПСТМ

(рис. 21, а) и сверло-сверло (рис. 21, б). Сверло-зенковка и сверло-сверло состоят из корпуса 1, к которому крепятся режущие элементы 2. Базиры

Развертки, оснащенные ПСТМ, мм

Назначение	d	d_1	L	l	Разработчик
Рис. 20, а	10—18	7,5—15	130—240	65—100	ХФ ГСПКТБ «Оргприинструмент»
Рис. 20, б	6—20	5,6—16	93—195	26—60	НАМ
Рис. 20, в	4—12	4—10	75—151	22—44	НАМ
Рис. 20, г	8—20	8—18	140—240	40—80	НАМ

и крепление режущих элементов осуществляются по посадочным местам в корпусе 1 с использованием установочно-крепежных элементов 3, 4. Конструктивные размеры инструмента определяются параметрами обрабатываемых отверстий.

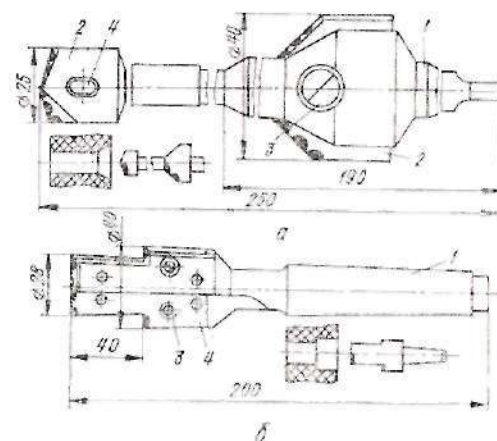


Рис. 21. Комбинированный инструмент из ПСТМ

РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ИЗ ПСТМ ДЛЯ УСЛОВИЙ ГИБКОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Основными требованиями к режущему инструменту для работы в условиях ГАП являются повышенные точность, надежность и работоспособность; максимальное число унифицированных и взаимозаменяемых деталей и узлов; бесподналадочность и быстротечность. Повышенную точность и надежность при высокой стабильности процесса обработки обеспечивает инструмент, оснащенный ПСТМ. Эксплуатация режущего инструмента из поликристаллических сверхтвердых материалов в условиях гибкого автоматизированного производства позволяет в полной мере реализовать потенциальные возможности, определяемые совокупностью уникальных физико-механических свойств этих материалов.

На рис. 22, а-г показаны конструкции режущего инструмента, предназначенного для эксплуатации в условиях ГАП и на станках с ЧПУ: вставки с механическим креплением режущих пластин из ПСТМ, регулируемые вращательные головки с механическим креплением вставок, микроборь с механическим креплением нанайных режущих элементов из СТМ, обеспечивающих точную расточку отверстий диаметром свыше 60 мм. В ряде случаев на станках с инструментальными магазинами применяются инструментальные

системы для замены режущего инструмента совместно со вспомогательным (рис. 22, б). Для токарной обработки наиболее рациональным является применение систем с автоматической сменой инструментальных головок. На рис. 22, в—к приведены системы соответственно BTS фирмы «Sandvich», FTS фирмы «Hartel», KV фирмы «Kernmetall», MXT фирмы «Widia» и др. Данные системы обеспечивают надежное функционирование оборудования в условиях ГАП и расширение гаммы обрабатываемых деталей.

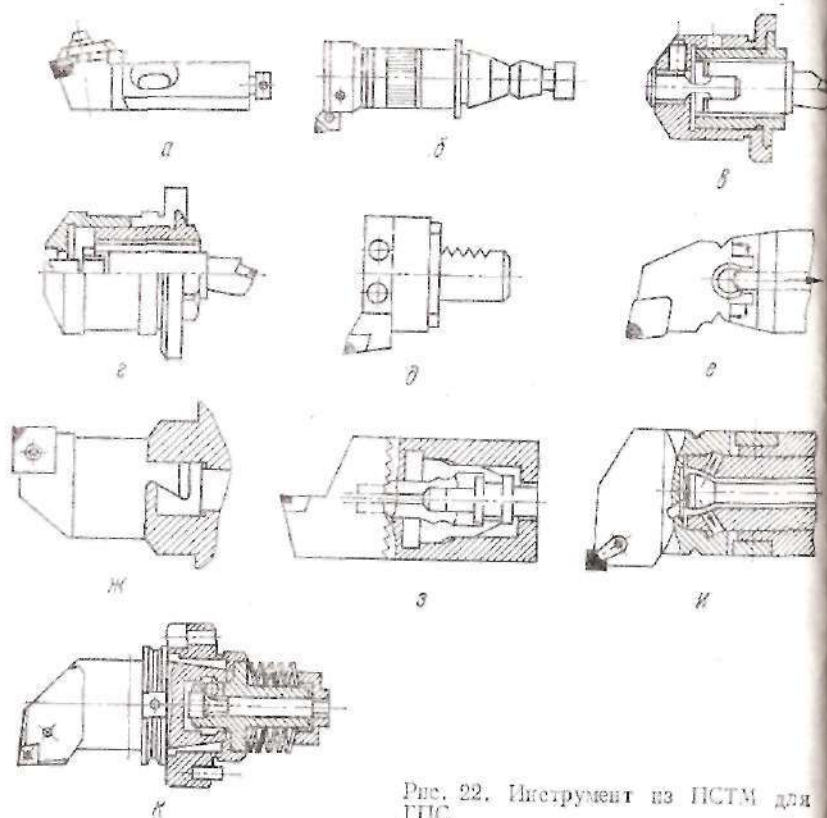


Рис. 22. Инструмент из ПСТМ для ГПС

Глава 3

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИНСТРУМЕНТА

Физико-механические свойства, форма и размеры заготовок из сверхтвердых материалов определяют конструкцию инструмента и технологию его изготовления. Из технологических операций по изготовлению лезвийного инструмента из ПСТМ наиболее характерны операции, связанные с обеспечением неразъемных соединений поликристаллов и державок, и операций по формообразованию режущих лезвий.

ШЛИФОВАНИЕ ПСТМ

Абразивная обработка ПСТМ чрезвычайно затруднена из-за их высокой твердости, повышенной хрупкости, большой абразивной износостойкости, а также незначительной активности к воздействию агрессивных сред, однако

этот вид обработки до настоящего времени остается основным при изготовлении инструментов из этих материалов. Абразивная обработка ПСТМ может осуществляться двумя методами: с применением связанных абразивов (алмазных кругов) и свободных абразивов (алмазных порошков). Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки. При равенстве площадей контакта абразивного инструмента с обрабатываемой пластиной производительность шлифования алмазными кругами в 6—8 раз выше, чем свободным порошком. Вместе с тем при использовании свободных абразивов легче обеспечить одновременную обработку большого количества заготовок и регулировать усилие резания. В отличие от шлифования алмазными кругами для реализации метода шлифования свободным абразивом достаточно применять стальные диски и алмазный порошок. Не требуются специальные устройства, которые необходимы для чистки и правки кругов. В основном это относится к обработке плоскостей и граней пластины. Ряд операций (обработка цилиндрических и конических поверхностей, фасок, радиусных вершин, заточка задних и передних поверхностей напильных резцов и др.) наиболее рационально производить алмазными кругами.

ШЛИФОВАНИЕ АЛМАЗНЫМИ КРУГАМИ

Алмазное шлифование сверхтвердых поликристаллических материалов представляет собой особый случай взаимодействия инструментального и обрабатываемого материалов, имеющих одинаковые или сопоставимые значения твердости.

Существенную роль в разрушении поверхности поликристаллов играют растягивающие напряжения, возникающие при скольжении по ней алмазных зерен. Вместе с тем в условиях алмазного шлифования ПСТМ реализуются различные виды микроразрушения. И все они влияют на общий срез материала. В частности, определенное влияние оказывают термически активируемые процессы, так как шлифование относится к высокотемпературным процессам, если иметь в виду мгновенные контактные температуры. При трении алмаза по алмазу локальные температуры могут превышать 1500 °C.

Термически активируемые процессы при алмазном шлифровании могут способствовать интенсификации микроразрушения поликристаллов на основе алмаза и нитрида бора.

Процесс обработки поликристаллов на основе нитрида бора имеет ряд особенностей по сравнению с обработкой поликристаллов на основе алмаза. Микротвердость алмазного зерна круга на 20—30 ГПа больше микротвердости кристаллитов обрабатываемого поликристалла КНБ, размеры кристаллитов борнитрида на порядок меньше, чем у алмазных поликристаллов. Алмазное зерно при нагружении способно внедриться в поверхность поликристалла нитридного или кубического нитрида бора на заметную глубину и оставить на ней хорошо различимый отпечаток.

Одной из наиболее характерных особенностей процесса шлифования ПСТМ алмазным кругом является быстрая потеря его режущей способности в результате интенсивного изменения рельефа режущей поверхности в ее свойствах.

Для обеспечения высокой эффективности алмазного шлифования ПСТМ необходима постоянная развитость микро- и субмикрорельефа прочных алмазных зерен, экономически целесообразная интенсивность их микроразрушения, надежное удержание зерен в связке круга.

Режим самозатачивания не всегда обеспечивает требуемое условиями обработки состояние режущей поверхности круга. Периодическая правка является средством лишь временного восстановления режущей способности кругов.

Для периодической абразивно-механической правки (чистки) кругов используют абразивные бруски или круги, в том числе алмазные. Правка может выполняться вручную или с помощью специальных приспособлений.

В качестве правящего инструмента рекомендуется использовать для ручной правки бруски твердостью М1, М2, а для механизированной — круги твердостью СМ1 и С1 из электрокорунда или карбида кремния зеленого на керамической связке с зернистостью, равной или на 1—2 номера больше зернистости алмазного круга.

При правке абразивными брусками при их жестком закреплении продольная подача бруска составляет 1—2 м/мин, поперечная — 0,01—0,02 мм/дв. ход.

Правка кругами методом шлифования производится с помощью специальных приспособлений [14] при скорости абразивного круга 10—35 м/с, продольной подаче 1,5—2,0 м/мин, поперечной подаче 0,005—0,2 мм на 3—5 дв. ходов. Алмазный круг в обоих случаях вращается с рабочей скоростью.

Наиболее производительными являются методы шлифования ПСТМ алмазными кругами на металлических связках с обязательным управлением их режущим рельефом. Оно достигается дозируемым разрушающим воздействием на связку и алмазные зерна, находящиеся на рабочей поверхности круга, а также удалением продуктов шлифования и износа из межзеренного пространства.

Способы такого воздействия должны обеспечивать возможность регулирования интенсивности разрушения в широких пределах, избиратель-

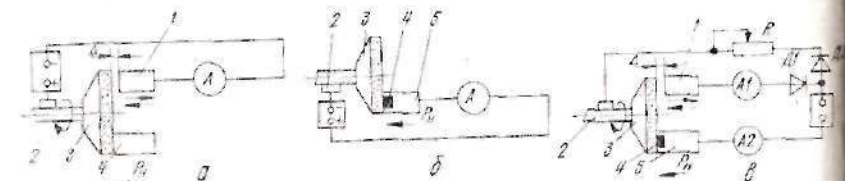


Рис. 23. Принципиальные схемы шлифования поликристаллов:

а — с непрерывным автономным электрохимическим управлением режущим рельефом кругов на токопроводящих связках; б — с совмещенной зоной управления и шлифования; в — комбинированная (1 — автономный электрод; 2 — токоисточник; 3 — алмазный круг; 4 — ПСТМ; 5 — державка)

ность разрушающего воздействия, разнотость микро- и субмикрорельефа алмазных зерен при допустимых интенсивностях износа, доступность реализации в условиях производства.

В зависимости от места на рабочей поверхности круга и реализации дозируемого разрушающего воздействия управление является автономным (рис. 23, а), совмещенным (рис. 23, б), комбинированным (рис. 23, в). В первом случае зона управления отделена от зоны шлифования, во втором — совмещена, в третьем — имеется самостоятельная и совмещенная зоны шлифования.

Когда обработке подвергаются собственно сверхтвердые поликристаллы, используется автономное управление режущей поверхностью круга, при этом разрушающему воздействию подвергаются участки рабочей поверхности круга вне зоны шлифования. Для шлифования поликристаллов совместно со стальной державкой рекомендуется комбинированный метод, совмещающий электроалмазное шлифование стальной державки и алмазное шлифование ПСТМ с непрерывным управлением режущим рельефом алмазного круга. Для осуществления процесса шлифования таким образом должны быть две электрические цепи.

При шлифовании композиций ПСТМ—сталь возможна также обработка по более простой схеме (с одной электрической цепью), причем в качестве катода используется стальная державка.

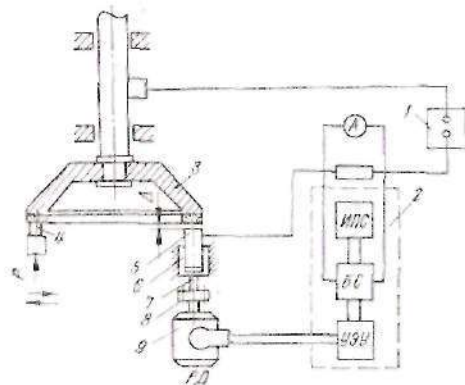
Упрощенная схема шлифования ПСТМ с автономным управлением режущим рельефом алмазного круга путем электрохимического воздействия на круг наиболее просто реализуется на станках, предназначенных для электроалмазного шлифования, или на станках, модернизированных для этого цели. Алмазный круг в цепи источника постоянного тока является анодом, а специальное устройство — катодом. Наиболее совершенная реализация данного процесса включает автоматическую стабилизацию уровня режущей способности круга (рис. 24). Для этого разрушающее воздействие на круг дозируется в результате действия системы, стабилизирующей силу тока в цепи автономного катода. Сила тока регулируется за счет изменения зазора между рабочей поверхностью круга и катодом.

При уменьшении силы тока, проходящего через межэлектродный зазор, в мере износа алмазного слоя круга по сравнению с заданным значением обнаруживается сигнал рассогласования. Он со сравнивающего устройства поступает на вход фазочувствительного усилителя, нагрузкой которого является реверсивный асинхронный двигатель типа РД-09 механизма подачи катода. Катод перемещается с помощью червячной передачи, имеющейся в механизме подачи.

При выборе конструктивных размеров катода, в частности площади его рабочей поверхности, необходимо исходить из удовлетворения следующих условий: 1) достижения линейных скоростей съема поверхностных слоев круга, которые обеспечили бы стабильное поддержание высокой разности режущего рельефа и неблагоприятных условий работы алмазных кругов, характеризующихся интенсивным сглаживанием рельефа при шлифовании сверхтвердых поликристаллов на основе алмазов; 2) ограничения интенсивности электрохимических процессов в межэлектродном зазоре и недопущения самопроизвольного перехода их в электрокоррозионные, имеющие характер электродуговых разрядов, разрушающих рабочие поверх-

Рис. 24. Принципиальная схема алмазного шлифования ПСТМ с автоматической стабилизацией алмазной интенсивности удаления связки круга:

1 — источник питания; 2 — блок управления; 3 — алмазный круг; 4 — ПСТМ; 5 — автономный электрод; 6 — токоисточник; 7 — вентиль; 8 — муфта; 9 — реверсивный электродвигатель



ности круга и катода; 3) исключения шлифования катода кругом. Гарантируемый зазор между рабочей поверхностью катода и наиболее выступающими зернами круга должен быть не менее 0,1 мм.

Для интенсивного растворения связки в процессе шлифования ПСТМ, а также исключения отрицательного влияния чрезмерного нагрева электрода площадь катода должна быть максимальной. Однако установлено, что для кругов зернистостью до 315/250 можно ограничиваться рабочей площадью катода 1000—1200 мм².

Подачу электролита в межэлектродный зазор целесообразно осуществлять через отверстия в катоде. При использовании для шлифования алмазных кругов эти отверстия необходимо располагать под внутренней кромкой рабочей поверхности круга для обеспечения равномерного заполнения межэлектродного зазора электролитом.

В качестве электролитов рекомендуется применять состав № 1 (табл. 29). Могут также использоваться и другие составы электролитов, применяемые при электроалмазном шлифовании.

При осуществлении приведенного способа управления режущими свойствами круга возможна потеря устойчивости управления высотой зерен. Это явление в случае использования схемы шлифования с постоянным значением прижима обрабатываемого изделия к кругу приводит к снижению реальной производительности обработки, а при шлифовании с фиксированной подачей наблюдается возрастание силы P_p .

Шлифование с автоматической стабилизацией уровня электрохимического воздействия на круг осуществляется при заданной на гарантированное значение силе тока в цепи автономного катода, устраняющей наступление потери устойчивости. Показатели обработки ПСТМ (производительность, расход алмазов и др.) существенно зависят от силы тока в цепи управления. Так, с увеличением силы тока от 0 до 80 А удельный расход алмазов уменьшается в пять-шесть раз. Однако при дальнейшем ее увеличении удельный расход начинает расти.

29. Составы технологических сред на основе воды, применяемых при шлифовании ПСТМ

Состав	Содержание, %						Способ подачи
	NaNO ₃	NaNO ₂	Na ₂ CO ₃	Глине-рина	Три-этилол-амина	Оле-ино-ного масла	
1	5	0,3	—	—	—	—	Полив
2	—	—	0,3—2,0	—	—	—	Полив с расходом 2—
3	0,6	—	—	0,6	1,8	—	л/мин или распылением
4	—	12	0,3	—	—	3,0	То же Капельным образом

С целью обеспечения стабильности процесса шлифования может быть дополнительно применена следящая система, реагирующая на изменение силовых нагрузок на круг, в частности на изменение мощности.

Для осуществления электрохимического воздействия на круг могут использоваться источники постоянного тока 12—16 В. Плотность тока в межэлектродном зазоре для самого нагружаемого режима практически не превышает 0,1 А/мм².

Поликристаллы типа АСПК целесообразно в начале шлифовать с силой тока в цепи управления 75—80 А, при этом производительность обработки составляет 8—15 мм³/мин. На заключительном этапе обработки силу тока следует уменьшать до 20—25 А. В результате обеспечивается снижение шероховатости обработанной поверхности и исключается возможность ее термического растрескивания.

Управление режущим рельефом круга дозируемым электрофизическим воздействием осуществляется также на станках для электроалмазного шлифования. Алмазный круг на токопроводящей связке служит одним электродом, а катодное устройство — другим.

В качестве источников электрической энергии можно использовать генераторы импульсных напряжений: ШГН40-440, ОПН 3/100-М, ВГ-30 ШГН100-125, МГН, ГРН-5 и др.

Чем выше интенсивность электроэрозионного процесса, тем интенсивнее удаление связки, больше высота выступания зерен алмазного круга на уровне связки, выше производительность шлифования ПСТМ. Постоянство межэлектродного зазора обеспечивается системой подстройки катода, контролирующей стабильность работы генератора в режиме, близком к короткому замыканию.

Изменяя энергию электрических импульсов, можно в процессе шлифования поликристаллов изменять статистические характеристики режущего рельефа алмазного круга и благодаря этому существенно повышать производительность обработки.

Перспективен электроэрозионный способ управления при помощи регулируемых источников постоянного тока.

Совмещение различных по природе разрушающих воздействий (электрохимического и абразивного, электроэрозионного и абразивного и т. п.) обладает дополнительными возможностями управления режущим рельефом. Предложен способ управления режущим рельефом с помощью щеточных гибких электродов [12]. В его основе лежит комбинация электрофизико-химического и механического разрушающего воздействия на рабочую поверхность круга. Гибкие микроэлектроды катодного действия, проникая в межзеренное пространство и огибая алмазные зерна, обеспечивают локальное разрушающее воздействие на участки связки перед фронтом и с флангов зерна, оставляя своеобразные возвышения связки за зерном.

На практике применяется электроэрозионная правка алмазных кругов с помощью алмазных брусков на токопроводящих связках, используемых в качестве катода. Алмазный брусок имеет упругий контакт с рабочей поверхностью круга, что обеспечивает дополнительное абразивное воздействие бруска на круг.

Этот способ отличается простотой и достаточно высокой эффективностью сохранения режущих способностей алмазного круга. Для правки кругов указанным способом могут быть использованы источники постоянного тока напряжением 10—18 В. Сила поджатия бруска составляет 20—30 Н. На

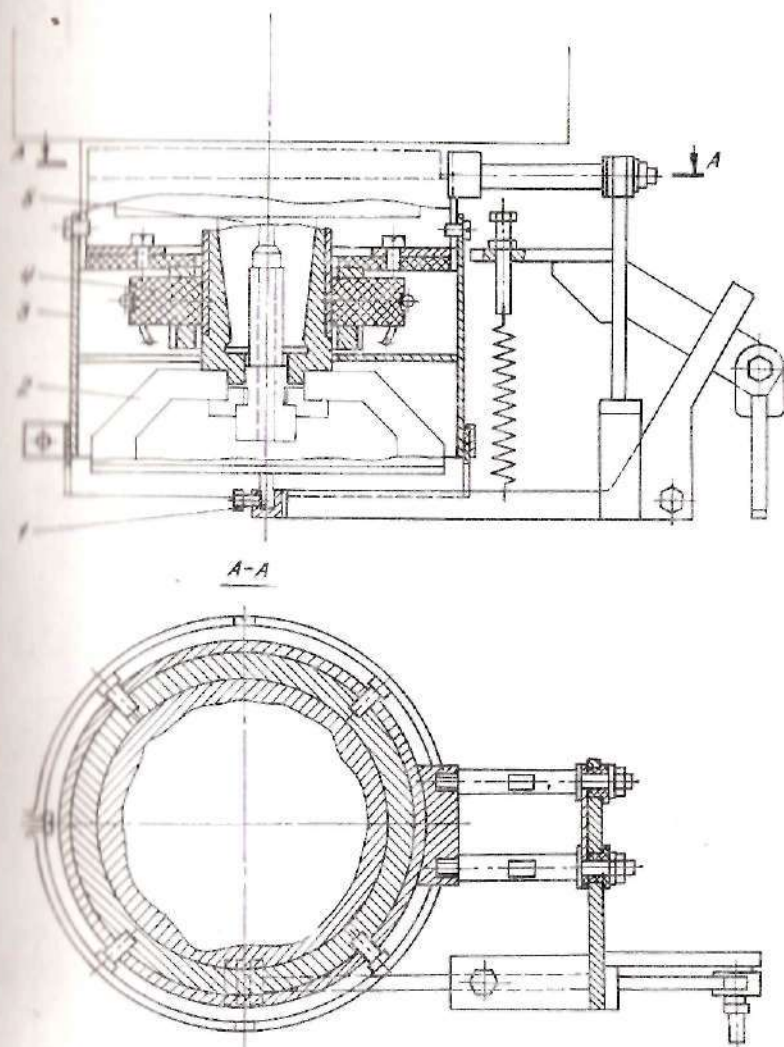


Рис. 25. Устройство для непрерывной правки круга алмазным бруском с наложением электрического тока:

1 — алмазный брусок; 2 — алмазный круг; 3 — защитный кожух; 4 — щетка; 5 — шпиндель станка

Рис. 25 показано приспособление для непрерывной правки алмазных торцовых кругов алмазными брусками на модернизированном плоскошлифовальном станке.

Закономерности изменения режущего рельефа, описанные для алмазных кругов на металлических связках, справедливы и для кругов на орга-

нических связках. Однако в этом случае невозможно управление выступания зерен и устранение контакта связки с обрабатываемым ПСТМ. Поэтому сила, мощность и среднинеинтегральная температура выше, чем при шлифовании кругами на металлической связке с непрерывным управлением рельефом кругов. Большей оказывается и степень влияния поперечной подачи, а также скорости резания. Эти величины определяются в зависимости от подачи и силы резания по следующим формулам:

$$P_z, N, \Theta = a(S_{\text{поп}}/0,03)^b;$$

$$P_z, N, \Theta = \alpha_1(v_{\text{кр}}/20)^{\beta_1}.$$

Значения коэффициентов для этой формулы при шлифовании кругом 12А 45° 150 × 10 АС6 200/160—100 % приведены в табл. 30.

30. Значение коэффициентов для расчета силы резания, мощности и среднинеинтегральной температуры при шлифовании ПСТМ

Круги	Обрабатываемый материал	P_z		N		Θ	
		a/a_1	b/b_1	a/a_1	b/b_1	a/a_1	b/b_1
На органических связках типа В2-01 (с охлаждением)	АО4	55	0,65	1100	0,65	1650	0,65
		55	—0,53	1100	0,40	1050	0,40
	АО1	74	0,43	1480	0,43	950	0,43
		74	—0,87	1480	0,14	950	0,14
	АО1 и сталь	72	0,63	1440	0,63	1020	0,63
		72	—0,49	1440	0,49	1020	0,49
	АО6	35	0,72	1300	0,72	920	0,72
		65	—0,74	1300	0,26	920	0,26
	АО2	58	0,68	1160	0,68	900	0,68
		58	—0,70	1160	0,27	900	0,27
	К10 Д	23	0,37	460	0,37	690	0,37
		23	—0,43	460	0,53	690	0,53
На металлических связках типа М1-01 (с управлением рельефом кругов)	АО4	30	0,43	600	0,43	790	0,43
		30	—0,52	600	0,46	790	0,46
	АО1	43	0,43	860	0,43	720	0,43
		37	—0,78	740	0,22	740	0,22
	АО1 и сталь	49	0,27	980	0,27	850	0,27
		49	—0,76	980	0,25	850	0,25
	АО6	40	0,45	800	0,45	680	0,45
		40	—0,72	800	0,21	680	0,21
	АО2	34	0,48	680	0,48	665	0,48
		34	—0,65	680	0,34	645	0,34
	К10 Д	17	0,34	340	0,34	520	0,34
		17	—0,33	340	0,67	520	0,67
КО1 и сталь	24	0,21	480	0,21	680	0,21	680
	24	—0,68	480	0,23	680	0,23	680

Примечание. Данные коэффициенты справедливы для сил резания, мощности и среднинеинтегральной температуры соответственно в ньютонх, ваттах и кельвинах.

Алмазные круги на органических связках могут шлифовать ПСТМ без самозаточивания до полного износа без дополнительной правки. Условием этого является внедрение поликристалла в связку, связанное с высокой силовой и тепловой напряженностью процесса (порядка 30—50 МПа, температура в контакте с кругом может достигать 30—50 МПа, температура шлифования — 900—1000 К, а эффективная мощность шлифования — 1 кВт).

Для шлифования кругами на связке Т02 в диапазоне условий обработки $v = 10...40$ м/с, концентрации алмазов в круге $K = 50...150$ %, зернистость $z = 40...200/160$ справедливы зависимости $P_z, P_n, P_z, N_s = CK^x Z^y v_{\text{кр}}^n$, где C, x, y, n приведены в табл. 31.

Значения коэффициентов для определения сил резания и мощности при шлифовании алмазными кругами (числитель) и композита 10Д (знаменатель)

Параметры	C	x	y	n
P_z	682/1355	—0,44/0,30	—0,13/—0,26	—0,32/—0,31
P_n	18,2/49	—0,44/0,30	—0,13/—0,26	—0,32/—0,31
P_z	41/24	—0,55/0,46	0,17/0,19	—0,56/—0,50
N_s	0,08/0,021	0,54/0,46	0,17/0,19	0,44/0,40

Значения поперечной подачи, при которой исключается периодичность шлифования кругов на органических связках в диапазоне скорости круга $v = 30...40$ м/с, зернистости $z = 125/100...200/160$, концентрации $K = 50...150$ %, рассчитывается по формуле

$$S_{\text{поп}} = 25...30/H_{\text{ПСТМ}}^2 S_{\text{к}} HRB,$$

где $S_{\text{поп}}$ — поперечная подача, мм/дв. ход; $H_{\text{ПСТМ}}$ — микротвердость ПСТМ, ГПа; $S_{\text{к}}$ — площадь контакта ПСТМ с кругом, мм²; HRB — условная твердость связки круга.

Для органических связок расчетные значения поперечной подачи приведены в табл. 32.

Расчетные значения подачи, исключаяющей периодичность процесса шлифования кругов на органических связках

Связка круга	Марка обрабатываемого ПСТМ				
	АО4	АС6	АО1	К10Д	КОБ1
В2-01(01)	0,03 — 0,04	0,02 — 0,03	0,03 — 0,04	0,06 — 0,08	0,1 — 0,12
В2-10(1012)	0,4	0,03 — 0,04	0,04	0,08 — 0,1	0,12

В табл. 33 приведены значения шероховатости, эффективной мощности и расхода алмазов при шлифовании композита 01 кругами на различных органических связках. По этим данным предпочтительной является марка В1-08 (ИМ-2), в которой в качестве связующего применен полиалмаз марки АН-III.

К основным факторам, определяющим работоспособность алмазного круга, относятся форма и размеры круга, состав связки, марка, зернистость, покрытие и концентрация алмазов.

Формы и размеры алмазных кругов регламентированы соответствующими ГОСТами (табл. 34). Технические условия на алмазные круги определяются ГОСТ 16181—82.

33. Удельный расход алмазов q , шероховатость поверхности Ra и мощность шлифования N_s композита 01 кругами (АС4 80/63—100%) с различными связками и покрытиями зерен

Связка и покрытие	q , %	Ra , мкм	N_s , кВт	Связка и покрытие	q , %	Ra , мкм
B2-01	100	0,14 — 0,32	0,45	B1-02	93,7	0,16 — 0,25
C21 B2-01	76,6	0,22 — 0,32	0,48	C21 B1-02	83,6	0,25 — 0,30
A2 B2-01	52,2	0,17 — 0,25	0,98	A2 B1-02	55,2	0,16 — 0,26
B1-01	62,2	0,18 — 0,26	0,80	B1-08	86,6	0,22 — 0,32
C22 B1-01	78,9	0,20 — 0,30	1,08	B1-08 (HM-2)	48,7	0,10 — 0,20

Примечание. Условия обработки: $v_{кр} = 35$ м/с; $S_{кр} = 15$ м/мин; $S_{лон} = 1$ мм; ход: $l = 0,02$ мм.

34. Типаж алмазных кругов

Форма кругов	Обозначение	ГОСТ
Чашечные с углом 45°	12A2	16172—80
Плоские прямого профиля	1A1	16167—80
Плоские с выточкой	6A2	16170—80
» с двусторонней выточкой	9A3	
» с двусторонним коническим профилем	1EEIX, 14EEIX	16179—82
Тарельчатые	12P4, 12P5, 12D9	16176—82, 16177—82
То же с углом 20°	12A2	16178—82 16175—81

Работоспособность связки характеризуется двумя основными свойствами: прочностью удержания зерен абразива и износостойкостью.

Для прочного удержания алмазных зерен связка должна быть адгезивно активной по отношению к поверхности алмаза и в то же время обладать минимальной адгезией по отношению к обрабатываемому материалу. Необходимо, чтобы связка не только была износостойкой, но и обеспечивала высокую режущую способность алмазного слоя, т. е. обеспечивала своевременное вскрытие новых режущих зерен и наиболее полное использование их.

Для алмазных кругов, работающих с применением воздействия электрического тока, большое значение имеет электропроводность связки.

Для обработки ПСТМ применяются круги, изготавливаемые на органических, металлических и керамических связках. В органических связках в качестве основы используется пульвербакелит, в металлических — различные металлы, в керамических — боросиликатное стекло.

На практике наиболее широкое применение находят круги на органических связках. Они сравнительно просты в изготовлении и эксплуатации, универсальны в работе. Между собой органические связки отличаются составом наполнителя. Связки, нашедшие применение в отечественной промышленности при обработке ПСТМ, имеют следующие наполнители: B2-01 (B1) карбид бора; B1-02 (B156) — карбид бора, смесь порошков цветных металлов; B1-01 (B112), B1-03 (B113) — карбид бора, порошок меди и B1-10 (T02) — карбид бора, порошок меди; B3-01 (BP) — дробленую резину. Введение наполнителей в связку позволяет регулировать ее физико-механические свойства и эксплуатационные характеристики алмазного инструмен-

та. Наличие в связке частиц карбида бора увеличивает жесткость связки, ускоряет процесс самозатачивания круга при шлифовании, снижает удельный расход алмазов. Металлические наполнители обеспечивают меньший расход алмазов, чем хрупкие наполнители, однако использование только металлических наполнителей усиливает засаливаемость кругов, снижает их самозатачиваемость. Дробленая резина придает связке эластичность, что способствует снижению шероховатости обработанной поверхности.

Керамические связки удерживают режущие зерна более прочно, чем органические, отличаются большей хрупкостью, и поэтому круги с этими связками обладают лучшей самозатачиваемостью.

Металлические связки обеспечивают более прочное, чем органические, керамические, удерживание алмазных зерен, обладают большей теплопроводностью и высокой удельной электропроводностью.

Круги на металлических связках рекомендуется применять при наличии непрерывного дополнительного воздействия на рабочую поверхность круга. Напыление кругов на металлических связках для шлифования ПСТМ непрерывным управлением их режущим рельефом позволяет исключить воздействие связки круга с ПСТМ и снизить в 1,3—1,4 раза уровень температуры на поверхности поликристаллов при их обработке по сравнению с температурой, которая возникает при обработке кругами на органической связке.

Для изготовления алмазных кругов применяют в основном шлифовальные марки АС2, АС4, АС6, АС15, АС20 и микропорошки АСМ и АСН.

В табл. 35 указаны показатели прочности шлифовальных порошков.

Разрушающая нагрузка, Н (не менее), при статическом сжатии порошков (ГОСТ 9206—80)

Зернистость	Марка порошка					
	АС2	АС4	АС6	АС15	АС20	АС32
315/250	—	—	—	20,5	27,4	41,0
250/200	—	—	9,2	17,3	23,5	34,5
200/160	—	6,0	8,0	15,1	20,6	31,2
160/125	2,2	5,0	6,8	13,0	17,6	25,9
125/100	2,0	4,1	5,8	10,8	14,7	21,6
100/80	1,8	3,6	4,9	9,7	13,3	18,4
80/63	1,7	2,9	4,4	8,6	11,8	16,2
63/50	1,6	2,6	4,1	7,6	10,3	14,0
50/40	1,5	2,5	3,8	6,5	8,8	12,3

Микропорошки АСН обладают абразивной способностью на 18—22 % выше, чем АСМ. Зернистость микропорошков, применяемых в кругах для обработки ПСТМ, 10/7—60/40.

Для шлифования ПСТМ используются следующие марки алмаза в зависимости от связки круга:

Связка круга	Марка алмаза
Органическая	АС4, АС6, АС2
Металлическая	АС6
Керамическая	АС6, АС4

От зернистости алмазных кругов зависят шероховатость обработанной поверхности, радиус округления и зазубренность режущей кромки инструмента, производительность обработки, расход кругов [1,8]. С увеличением зернистости повышается производительность обработки, но увеличивается шероховатость обработанной поверхности (табл. 36), причем интенсивность изменения этих параметров зависит от конкретных условий обработки.

Для повышения эффективности работы алмазных кругов при их изготовлении используют алмазные порошки с различными металлическими и неметаллическими покрытиями (табл. 37), которые обеспечивают лучшие

36. Удельный расход алмазов q , шероховатость поверхности Ra и мощность шлифования N_s композита 01 кругами (АС4 В1-08 — 100%) различной зернистости

Зернистость	γ , %	Ra , мкм	N_s , кВт	Зернистость	q , %	Ra , мкм
6/50	137,40	0,10 — 0,15	0,45	125/100	123,20	0,11 — 0,22
80/63	100,00	0,10 — 0,20	0,4	160/125	125,70	0,12 — 0,25
100/80	121,11	0,11 — 0,20	0,4	200/160	128,50	0,12 — 0,27

Примечание. Условия обработки: $v_{кр} = 35$ м/с; $S_{пр} = 15$ мм/мин; $S_{посл} = 2$ мм/ход; $t = 0,015$ мм; СОЖ — 5 %-ный раствор эмульсора ЭГТ в воде.

37. Шероховатость передней (числитель) и задней (знаменатель) поверхности режущего элемента из композита 01 и удельный расход алмазов q при шлифовании алмазным кругом 1А1 250 × 75 × 15 × 5 АС4 80 63В2-01 — 100%

Марка покрытия	Ra , мкм	q , мг/шт.
Без покрытия	0,11 — 0,26/0,18 — 0,32	14,20/61,96
А2	0,17 — 0,24/0,18 — 0,35	8,31/32,56
С21	0,20 — 0,24/0,15 — 0,26	10,82/46,62
С22	0,18 — 0,40/0,19 — 0,42	8,66/40,43

Примечание. Условия обработки: $v_{кр} = 35$ м/с; $S_{пр} = 15$ мм/мин; $S_{посл} = 4$ мм/ход; $t = 0,02$ мм/дв. ход (передняя поверхность); $t = 0,015$ мм/дв. ход (задняя поверхность); СОЖ — 5 %-ный раствор эмульсора ЭГТ в воде; $\gamma = -10^\circ$; $\varphi = \varphi_1 = 47^\circ$.

удержание зерен связкой, повышают их прочность, улучшают условия теплоотвода из зоны шлифования [16]. Однако при шлифовании поликристаллических сверхтвердых материалов металлизации зерен не всегда дает положительные результаты, особенно это проявляется при работе кругов на металлических связках. Наилучший эффект достигается при использовании кругов на органической связке с металлизированными агрегированными алмазами, представляющими собой агрегаты, содержащие несколько зерен алмаза, которые покрыты и спаяны между собой медно-оловянным, медно-сурьмянистым и другим сплавом.

Повышение самозатачиваемости алмазных кругов, снижение засаливаемости, повышение температуры и мощности шлифования могут быть достигнуты при нанесении на алмазные зерна покрытий на основе натриево-боросиликатных стекол. Размягченное при контактировании с обрабатываемым материалом стекло является хорошей смазкой [40]. На выбор концентрации алмазных кругов влияют характер производимой технологической операции, форма рабочей поверхности круга, площадь контакта круга и изделия, размерная стойкость рабочей поверхности круга, величина алмазного зерна. В большинстве случаев используют круги с 100 %-ной концентрацией алмазов как наиболее универсальной.

Вместе с тем роль концентрации при обработке поликристаллических сверхтвердых материалов заключается в том, что при уменьшении концентрации (до 25 %) можно повысить коэффициент участия зерен в работе, обеспечить их самозатачиваемость, сократить удельный расход алмазов, увеличить производительность обработки и исключить брак из-за растрескивания ПСТМ.

Концентрация алмазных зерен в круге, содержащем токопроводящую связку, обеспечивающая минимальный удельный расход кругов и наилуч-

Предварительная: бесцентровое шлифование	Чистовая: бесцентровое шлифование	Предварительная: круглое наружное шлифование	Чистовая: круглое наружное шлифование	Доводочная: круглое шлифование	Органические связки				
					АС6; АС4	АС6; АС4	АС6; АС4	АС6; АС4	АС6; АС4
М04 (М1-04); МВ1 (М1-01); М20; ТМ12 (М1-03); ТМ2; МВ1К	М04 (М1-04); МВ1 (М1-01); М20; ТМ2; МВ1К	В1 (В2-01); В12 (В1-01); В13 (В1-03); Т02; В156; (В1-02)	В1 (В2-01); В12 (В1-01); В13 (В1-03); Т02; В156 (В1-02)	В1 (В2-01); ВР (В3-01)	125/100— 200/160	30—40	10—20 20—30	30—40 15—25 25—35	1,20—1,50 0,30—0,40 0,60—0,80 0,40—0,80 0,10—0,20 0,15—0,25
плоское шлифование заточка	плоское шлифование заточка	плоское шлифование заточка	плоское шлифование заточка	плоское шлифование заточка	1,0—10,0	1,0—10,0	1,0—10,0	1,0—10,0	0,7—0,1 0,02—0,03 0,02—0,03 0,03—0,05 0,01—0,02 0,01—0,02
					15—35	20—30	15—35	20—30	0,3—0,8 1,0—1,5 0,2—0,5 0,2—0,5 0,1—0,3 0,1—0,3
					125/100— 200/160	50/40— 80/63	20/14— 40/28	20/14— 40/28	0,80—1,20 0,60—0,80 0,40—0,80 0,20—0,60 0,05—0,15 0,05—0,15
					АС6; АС4 агрегированные	АС4; АС2; АС6	АС11; АСМ	АС11; АСМ	0,02—0,03 0,02—0,03 0,01—0,02 0,005—0,015 0,005—0,01

нее качество изделий из ПСТМ при их шлифовании, может быть определено из следующего соотношения $K = 25 \tau_1 / \tau_2$, где τ_1, τ_2 — предел прочности сжатия соответственно шлифуемого сверхтвердого материала и алмаза.

Использование алмазных кругов позволяет разрабатывать высокоэффективные технологические процессы шлифования поликристаллических сверхтвердых материалов. Важно в каждом конкретном случае правильно определить схему шлифования, способ управления режущей поверхностью, характеристику круга и режим обработки (табл. 38).

Группы сверхтвердых материалов (на основе КНБ и на основе алмаза) существенно отличаются друг от друга физико-механическими свойствами и значит, обрабатываемостью (см. табл. 39). Обрабатываемость поликристаллов ухудшается с повышением их твердости. Более интенсивные режимы шлифования назначаются при обработке поликристаллов, имеющих меньшую твердость. Следует иметь в виду, что при многопозиционной обработке производительность возрастает.

39. Обрабатываемость различных марок поликристаллов

Показатель обрабатываемости	Марка ПСТМ							
	А01	А02	А04	ВПА	К10	К01	К02	К03
Относительный расход алмазов, мг/мг	5,0—15,0	4,0—14,0	3,0—10,0	1,7—7,6	0,2—0,4	0,2—0,3	0,2—0,4	0,1—0,2
Производительность обработки, мм³/мин	0,5—6,0	0,2—6,5	0,4—15,0	0,7—10,0	60,0	20—160	25—140	30—200

Шлифование режущих лезвий инструмента из ПСТМ алмазными кругами при соответствующих режимах чистовой обработки и доводки условий (табл. 38) обеспечивает получение кромок с радиусом округления 4—15 мкм. Шлифование и заточку ПСТМ и инструмента из них необходимо проводить с применением СОЖ.

ОБРАБОТКА ПСТМ СВОБОДНЫМ АБРАЗИВОМ

При обработке свободным абразивом удаление материала производится в результате воздействия на обрабатываемую поверхность зерен, шаржащихся в поверхность притира либо временно в нем закрепившихся, а так вследствие врезывания остальных зерен между заготовкой и притирой. С помощью этого способа можно выполнять операции как предварительной, так и доводочной обработки. Наиболее целесообразно его использовать для обработки плоскостей. Применяемое для этого метода оборудование отличается простотой обслуживания, компактностью, не требует рабочих высокой квалификации, позволяет осуществлять многостаночное обслуживание.

Для реализации метода обработки ПСТМ свободным абразивом достаточно оснастить соответствующий притирочный или доводочный станок кассетами для укладки заготовок из ПСТМ. Образующийся при работе пылем легко поддается рекуперации и алмазный порошок может повторно использоваться.

Для предварительной обработки ПСТМ свободным абразивом на притирочной и шлифовально-полировальных станках применяются алмазные порошки АС6 100/80 — АСН 40/28, для окончательной — АСМ 28/20 — 5. Алмазный порошок в зону обработки подается в суспензии. В качестве суспензии используют смесь глицерина, жидкого масла с алмазным порошком соответствующей марки и зернистости. Концентрация алмазного порошка в суспензии составляет 2 % по объему. Для выполнения операции шлифования ПСТМ с помощью свободного абразива используют чугунные притиры. Суммарное усилие прижима притира — 300 — 1500 Н.

При доводке ПСТМ алмазными порошками указанной зернистости обеспечивается шероховатость поверхности $Ra = 0,1...0,2$ мкм.

Эффективность обработки свободным абразивом может быть значительно повышена путем наложения механических колебаний ультразвуковой частоты [39].

ОБРАТКА ПСТМ

Одной из главных задач при разработке технологических процессов изготовления инструмента из ПСТМ, предназначенного главным образом для чистовой обработки, является образование режущего лезвия высокого качества с минимальной величиной зазубрин и выкрашиваний. Для преобладания в большинстве случаев финишной обработки в машиностроении эта величина, как показывает практика, не должна превышать 5 мкм. При этом шероховатость поверхности обрабатываемой поверхности деталей $Ra = 0,1...0,2$ мкм.

Нежелательным является также шероховатость передней и задней поверхности реза. Снижение шероховатости рабочих поверхностей до $Ra \leq 0,1...0,2$ мкм уменьшит силы трения, развивающиеся в процессе резания, снизит интенсивность адгезии при контактировании инструмента и изделия в зоне резания.

Алмазные операции в большинстве случаев целесообразны для изготовления инструмента при чистовых, получистовых и черновых операциях. Доводка обеспечит повышение прочности и долговечности режущих элементов.

Алмазные операции необходимы также для обеспечения высокой точности режущих элементов. Особое значение это имеет для многолезвийного инструмента и инструмента с механическим креплением режущих элементов. На возможность доводки при изготовлении и переточках инструмента изготовляемым алмазными кругами рекомендуется производить только по минимальной площади контакта.

Для получения высококачественного лезвия инструмента рекомендуется проводить доводку мелкозернистым инструментом на сравнительно мягких материалах (см. табл. 38).

Технологический процесс обработки режущих лезвий инструмента в общем виде включает в себя три операции: черновую, чистовую и доводку. При выполнении этих операций следует применять алмазный инструмент (порошок) с последовательно уменьшающейся зернистостью. Особенно это важно для получения режущих лезвий без выкрашиваний.

Разную округления режущих кромок при доводке инструмента, оснащенного поликристаллами наиболее часто используемых марок, выбирают в пределах 4—10 мкм.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ШЛИФОВАНИЯ, ЗАТОЧКИ, ДОВОДКИ

В связи с повышенной чувствительностью инструментов из ПСТМ к вибрации и ударным нагрузкам к станкам, используемым для обработки режущих элементов из ПСТМ (табл. 40, 41), предъявляются повышенные требования в отношении точности, виброустойчивости и жесткости:

Размеры бинес шпинделя при работе, мм:	
— торцевой круга	0,005—0,008
— периферийного круга	0,0025—0,0060
Размеры бинес шпинделя при работе, мм:	
— торцевой круга	0,003—0,005
— периферийного круга	0,005—0,008
Амплитуда колебаний шлифовальной головки относительно осей в направлении, мм:	
— вдоль оси шпинделя	0,005—0,008
— поперек оси шпинделя	0,015
Амплитуда вибраций на холостом ходу в обоих направлениях, мм:	0,005—0,015
Допустимое смещение центра тяжести для шпинделя в сфере, промежуточного вала и ротора электродвигателя, мм:	0,001—0,003
10 мм для алмазного круга с оправкой	0,003—0,005
Жесткость, кН/мм	Не менее 15

46. Отечественные станки, используемые для шлифования, заточки и доводки поликристаллов *

Тип станка	Модель
Круглошлифовальные: бесцентровые для паружной обра- ботки универсальные	3M182, 3M182A, 3Г182, 3Н182Д, 3А10, 3В10, 3Р10А, 3У10С, 3У10А, 3В110, 3Э110М
Плоскошлифовальные: с прямоугольным или крестовым столом и горизонтальным шпин- делем с вертикальным шпинделем с круглым столом и горизонталь- ным шпинделем	3Г11, 3Г11, 3Г71М, 3Е711АФ1, 3Е711ВФ1, 3Д732 3Э731 3Д740, 3Д740В, 3Е740, 3П740, 3Д740А, 3П740В, 3Д740Д
Для заточки и доводки резцов	3622, 3622Д, 3623, 3Е624, 3Е624С, 3622З, 3Б632В
Универсально-заточные	3А64Д, 3В642, 3Б642, 3А64Г, 3М642Е, 3Д542Е, 3М642, 3М642Е-1, 3М642Б-1, 3М641
Для шлифования и доводки свобод- ным абразивом	3Е814, 3Б814, 3803, 3806П, 3814ПС, ЮФ-7, 2НП-200, 4ПД-200, 3Д817

* Допускается применение других моделей станков, удовлетворяющих нормам точности, жесткости и виброустойчивости.

41. Импортные станки для шлифования, заточки и доводки поликристаллов

Тип станка	Модель	Фирма (страна)
Зачисные	PS10, PS3—M/MA WKM 6/11 CPC-200 250 PA-CNC	«EWAG» (Швейцария) «WENDT» (ФРГ) «Osaka Diamond» (Япония) «AGATHON» (Швейцария)
Для конирной обра- ботки по конту- ру	WAM 300/35/30 WCM 200, WCM 200/11 WCM 200/12, WBM 300/21 WAM 300/20, WAM 10/13	WENDT (ФРГ) » » »
Для обработки многогранных плас- тин	SC1	«EWAG» (Швейцария)

По точности станки должны соответствовать следующим классам:
(II) для предварительной и чистовой обработки — повышенной точности (II) и частично высокой точности (B);
для доводки — повышенной точности (II), высокой точности (B) и частично особо высокой точности (A).

Уменьшение вибраций станка достигается за счет тщательной динамической балансировки вращающихся деталей станка, применения клееных или бесшовных ремней, использования высокоточных подшипников класса С, гидро- и аэроэластических подшипников скольжения, динамической балансировки электродвигателя и установки его на отдельном виброустойчи-

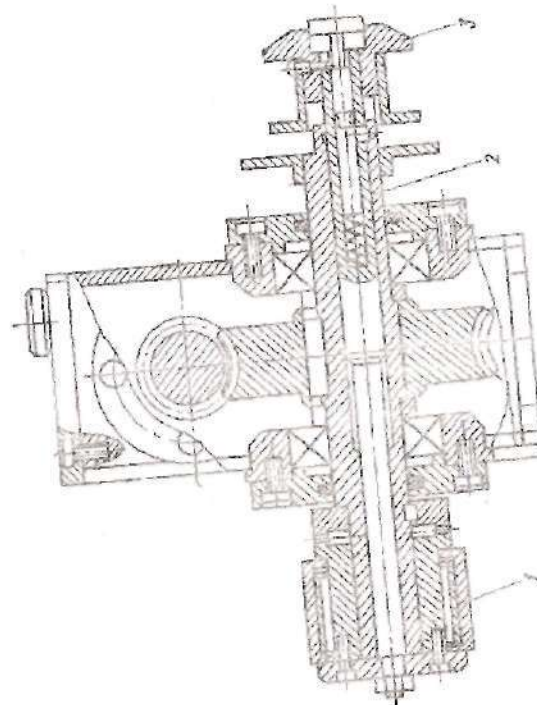
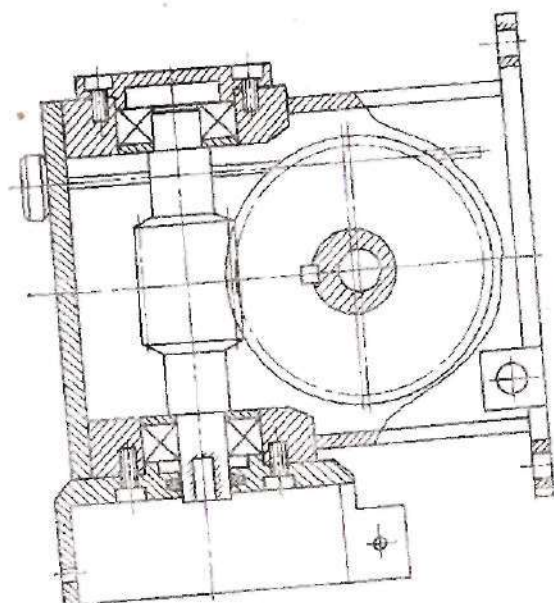


Рис. 26. Устройство для осциляции стояк универсально-затопного станка:
1 — датчик; 2 — фиксатор величины осциляции
3 — индикатор; 4 — датчик

вом фундаменте, установки станка на изолированном от источника питания фундаменте или инвентарных, тщательно балансируемых шлифовной оправки с кругом.

Диапазон чисел оборотов шпинделя станка должен обеспечить рекомендуемые окружные скорости кругов (см. табл. 40), а механизм поперечной подачи стола — малые (тонкие) подачи (0,001—0,005 мм/дв. ход). Станок рекомендуется оборудовать механизмами для автоматической продольно-поперечной подачи стола.

Необходимо чтобы станки, предназначенные для обработки поликристаллов алмазными кругами, имели систему охлаждения и защиту от разбрызгивания охлаждающей жидкости. Для обеспечения высоких классов чистоты обработанной поверхности станки должны оснащаться фильтрами тонкой очистки охлаждающей жидкости.

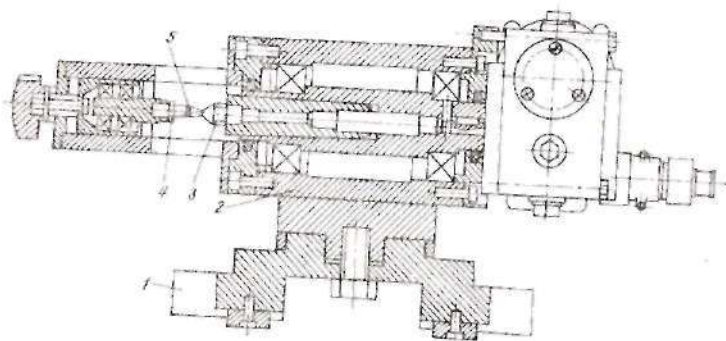


Рис. 27. Приспособление для заточки круглых режущих пластин из ПСТМ

Для повышения долговечности и точности станков все основные механические, подшипниковые узлы и направляющие, а также шлифовальные головки должны иметь эффективные средства защиты от попадания абразивной пыли и охлаждающей жидкости.

Для применения прогрессивных способов обработки ПСТМ в инструментах из этих станков, отвечающих основным требованиям, но не предназначенных специально для выполнения операций по шлифованию, заточке и доводке инструмента из ПСТМ, целесообразно модернизировать.

Модернизированные станки должны обеспечивать:

1. Поджим детали к кругу, продольную и поперечную подачу посредством гидравлических устройств, обладающих достаточной демпфирующей способностью; усилие прижатия определяется исходя из необходимости создания нормальных давлений до 200—250 Н/см² с учетом площади шлифуемых поверхностей. При этом в других конструктивных решениях должны обеспечиваться плавность хода механизмов и их виброустойчивость.

2. Регулировку силы и направления тока в цепи управления и шлифования при использовании кругов на токопроводящих связях. Иногда целесообразно регулировать и стабилизировать плотность тока, а напряжение рассматривать как ее функцию.

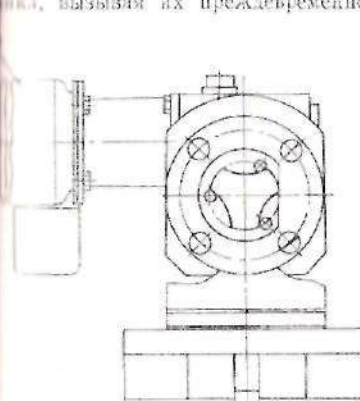
3. Жесткость и надежность существующих конструкций с учетом нового, более значительного прижимного усилия или повышенных усилий резания, которые могут возникнуть в результате увеличения мощности двигателей вращения шпинделей станков.

4. Уменьшение вероятности проскальзывания ремневой передачи главного привода и чрезмерного снижения оборотов шпинделя под нагрузкой.

При модернизации станков для работы с использованием средств, обеспечивающих непрерывное управление режущими способностями кругов, станки оснащаются источниками постоянного или импульсного тока, системой

электролита, специальными устройствами подачи электрода для взаимной с рабочей поверхностью алмазных кругов. Регулирование подачи электрода на круг может осуществляться различными способами, например помощью блоков регулирования тока в цепи управления, а в случае необходимости — и в цепи шлифования. Для воздействия электрического тока процесс шлифования ток должен подводиться непосредственно к вращающемуся алмазному кругу (к корпусу круга или к планшайбе, на которой закреплен круг) и к электроду. В случае совместной обработки ПСТМ и материала державки в качестве электрода (в цепи шлифования) может служить обрабатываемое изделие. Изолировать достаточно только алмазный круг шпиндлю с алмазным кругом) или электрод, служащий в данном случае анодом.

Токоподводящее устройство должно быть простым конструктивно и технически в изготовлении и установке на станок. Следует избегать такого подключения токоведущих шин, при котором ток протекает через подшипники, вызывая их преждевременное эрозионное разрушение. Допускается



подвод тока к вращающимся частям шпинделя станка, на котором устанавливается алмазный круг. При модернизации может изолироваться шпиндельная головка от станины станка, что также обеспечивает необходимые условия для протекания электрохимических и электроэрозионных процессов при шлифовании [13, 33].

Универсально-заточные станки, имеющие ручную продольную и поперечную подачи, целесообразно оборудовать устройствами, механизмирующими эти подачи [34]. Такая модернизация может быть осуществлена путем оснащения универсально-заточных станков гидродвиомом с выносной насосной станцией, включающей в себя насос типа Г12-41 (давление 0,063 кПа,

расход рабочей жидкости 8 г/мин, потребляемая мощность 1,7 кВт, частота вращения 1440 мин⁻¹). В гидравлической системе используется индустриальное масло 30. Регулировка продольной подачи производится дросселем, а поперечной — храповым устройством.

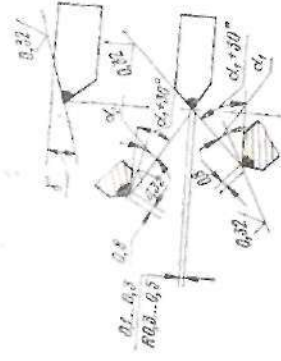
Для шлифования торцовых плоскостей круглых пластин из поликристаллов на основе алмазов плоскошлифовальные станки типа 3Г71 целесообразно модернизировать так, чтобы имелась возможность шлифования изделий кругом чашечного круга. Такая схема обработки обеспечивает более высокое качество изделий из ПСТМ, чем обработка периферийного круга прямого профиля.

Для заточки режущих пластин из поликристаллов универсально-заточные станки моделей 3АБ4Д, 3В642, 3АБ4М и другие с ручной продольной и поперечной подачей оборудуются специальным устройством для осциллирования стола станка, обеспечивающим плавную продольную подачу с ходом стола 0—10 мм и бесступенчатого регулируемого скорости перемещения 0,1—10 м/мин (рис. 26). Устройство представляет собой редуктор с электродвиателем. На выходной вал редуктора насажен эксцентрик, при вращении которого происходит возвратно-поступательное движение стола станка. Плавное перемещение стола механизировано благодаря оснащению его храповым механизмом, укрепленным на вилке поперечной подачи стола.

Применяемые для шлифования и заточки паяного инструмента из ПСТМ приспособления принципиально не отличаются от используемых для обработки инструмента из твердых сплавов.

Для заточки и доводки пластины круглой формы по задней поверхности универсально-заточных станках предназначено приспособление, показанное на рис. 27. На плите 1 крепится поворотный корпус 2, имеющий вращающийся от электродвигателя 6 и неподвижный в осевом направлении шпин-

27 43. Типовой технологический процесс алмазной обработки вставок с режущими элементами из поликристаллов на основе КНБ



Операция	Эскиз обработки	Модель станка	Характеристика круга	Режим обработки		
				v_g , м/с	$S_{пр}$, мм/мин	$S_{поп}$, мм/дв. ход
Заточка главной задней поверхности под углом α_1		ЗА64Д, ЗВ642, ЗМ642Е	12А2×45° 150×10 АС4 160/125 МА В2-01 50—100 %	20—30	1—1,5	0,02—0,03
Заточка вспомогательной задней поверхности под углом α_2						

Заточка передней поверхности под углом		ЗА64Д, ЗВ642, ЗМ642Е	12А2×45° 150×10 АС4 160/125 МА В2-01 50—100 %	20—30	1—1,5	0,02—0,03
Доводка главной задней поверхности под углом γ						
Доводка вспомогательной задней поверхности под углом		ЗА64Д, ЗВ642, ЗМ642Е	12А2×45° 150×10 АСМ 28/20 50— 100 %, связка В2-01 или В3-01	25—35	0,5—1,0	0,005—0,01
Заточка передней поверхности		ЗА64Д, ЗВ642, ЗМ642Е	12А2×45° 150×10 АСМ 28/20 50— 100 %, связка В2-01 или В3-01	25—35	0,5—1,0	0,005—0,01
Доводка вершинки встав- ки по плоскости или по радиусу		ЗА64Д, ЗВ642, ЗМ642Е	12А2×45° 150×10 АСМ 28/20 50— 100 %, связка В2-01 или В3-01	20—30	Ручная	Ручная

дель 3, в который вставлен прижим для крепления обрабатываемой пластины 5. К корпусу соосно со шпинделем 3 прикреплен подвижный в осевом направлении шпиндель 4, имеющий прижим для крепления обрабатываемой пластины. Частота вращения шпинделя (обеспечиваемая электродвигателем и редуктором) составляет 100 мин^{-1} . Центрирование заготовки с необходимой точностью выполняется при помощи специального устройства, которым оснащено приспособление.

При доводке пластин по передней поверхности применяется приспособление, имеющее специальную кассету, в которой устанавливается одновременно пять пластин. Конструкция кассеты обеспечивает упругое поджатие пластин к алмазному кругу. С целью равномерного износа алмазосодержащего слоя круга по его ширине кассета с заготовками приводится во вращение.

Для шлифования конической поверхности на круглошлифовальном станке типа 3М10В используется специальное приспособление, закрепление детали на котором осуществляется практически так же, как и в описанном (рис. 27).

Конус на режущих пластинах из поликристаллов может быть обработан алмазным шлифовальным кругом на универсально-заточном станке способом бесцентрового шлифования в упор с использованием приспособлений и узлов, прилагающихся к станкам типа 3В642.

Вращение заготовка получает от ведущего круга прямого профиля из электрокорунда. Круг закрепляется на оправке специальной трехшвортовой головкой и приводится во вращение от отдельного электродвигателя (мощность 0,25 кВт, частота вращения 1400 мин^{-1}) посредством клиноременной передачи. В горизонтальной плоскости оси ведущего и шлифовального кругов должны быть развернуты на угол, равный углу конуса. Для обеспечения перемещения шлифуемой заготовки в процессе обработки к упору ось ведущего круга в вертикальной плоскости должна быть повернута на угол, величина которого не должна превышать 7° .

При шлифовании заготовка свободно лежит на опорном ноже. В начале обработки, когда заготовка поликристалла имеет значительную некруглость в поперечном сечении, целесообразно применять дополнительный подпружиненный упор со стороны большого диаметра, препятствующий выскакиванию заготовки из зоны шлифования.

ТИПОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ИНСТРУМЕНТА ИЗ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Низкая обрабатываемость сверхтвердых поликристаллических материалов требует особой тщательности при разработке технологических процессов шлифования, заточки и доводки инструмента из ПСТМ. Необходимо стремиться к созданию условий для постоянного контакта обрабатываемого изделия и алмазно-абразивного инструмента. Без выполнения этого условия чрезвычайно затруднительно обеспечивать плоскостность изделий и высокое качество режущих кромок.

В табл. 42, 43 приведены типовые технологические процессы алмазной обработки режущих пластин из поликристаллов и инструментов, оснащенных ПСТМ.

На операциях плоского шлифования при одновременной обработке большого количества заготовок из поликристаллов, когда их крепление затруднено, может быть использован способ заливки заготовок легкоплавкими сплавами (висмут 50 %, олово 25 %, свинец 25 % с температурой плавления 110°C) или другими составами, быстро твердеющими и достаточно прочными для удержания заготовок.

Глава 4

ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТА ИЗ ПСТМ ПРИ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ

Инструмент из ПСТМ получил распространение во многих отраслях промышленности, прежде всего в станкостроении, автомобилестроении и сельскохозяйственном машиностроении, авиастроении, машиностроении для легкой и пищевой промышленности. Поликристаллический инструмент применяется при предварительной и окончательной обработке деталей из закаленных сталей, чугунов, жаропрочных и цветных сплавов, различных наплавленных и напыленных покрытий, твердых сплавов вместо твердосплавного и минералокерамического инструмента, а также вместо абразивных кругов при шлифовании.

ОБРАБОТКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ, ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Для лезвийной обработки цветных металлов, титановых сплавов применяется в основном инструмент на основе алмаза, так как он обеспечивает наиболее высокую стойкость. Однако в некоторых случаях можно применять и инструмент на основе нитрида бора.

Особенности процесса резания лезвийным инструментом на основе алмаза определяются физико-механическими свойствами алмаза: низким коэффициентом трения, высокими значениями тепло- и температуропроводности, обеспечивающими сравнительно низкие температуры в зоне резания и по-

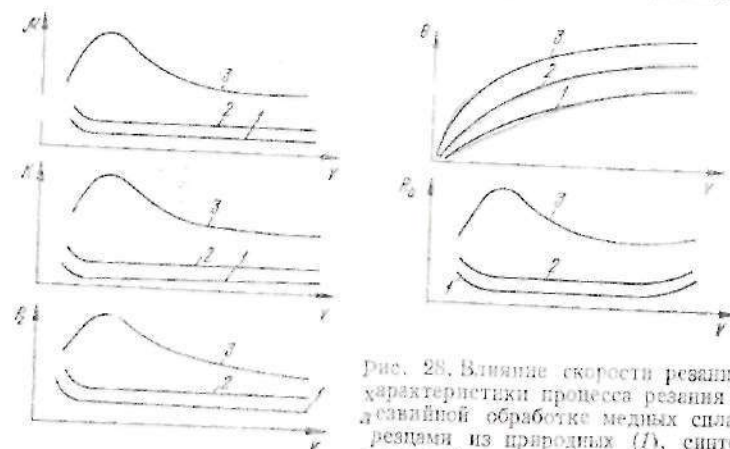


Рис. 28. Влияние скорости резания на характеристики процесса резания при лезвийной обработке медных сплавов резцами из природных (1), синтетических (2) алмазов и твердых сплавов (3)

зволяющими производить обработку на высоких скоростях, достигающих 1000 м/мин ; малыми значениями радиуса округления режущих кромок (до $\rho = 0,05 \dots 1,0 \text{ мкм}$); малыми силами резания по сравнению с силами при точном точении резцами из других инструментальных материалов (P_z меньше в 1,5–3 раза, P_v — в 3–12 раз); высокой износостойкостью, обеспечивающей размерную стойкость и длительную работу инструмента без подналадок.

Главное влияние на контактные процессы оказывают низкий коэффициент трения алмаза с большинством обрабатываемых материалов, а также высокая его теплопроводность. Поэтому при обработке цветных металлов в контактных слоях не возникает высокая температура при реальных режимах резания. Увеличение скорости до 1000 м/мин не меняет значения коэффициента трения (рис. 28).

Коэффициент трения синтетических поликристаллических алмазов с материалами выше, чем природных алмазов. Это объясняется тем, что у синтетических алмазов на поверхности имеются поры (несплошности), вызванные выполнением части кристаллитов, а также частицы металлической фазы. Эти поры заполняются грущимся металлом, что естественно ухудшает условия трения, повышая его коэффициент.

Поскольку уровень коэффициента трения синтетических алмазов со многими металлами менее 0,2, то можно сделать вывод о превалировании процессов алмазов с большинством металлов. Исключения составляют титан, никель и некоторые другие металлы, в контакте с которыми поверхность алмаза покрывается прочно удерживающейся пленкой грущегося металла, что полностью исключает внешнее трение.

Уровень сил резания при алмазном точении в 2—6 раз ниже, чем при тонком. Силы резания при точении резцами из природных алмазов несколько меньше, чем при точении резцами из синтетических алмазов (рис. 28). Это предопределяется меньшими значениями коэффициента трения и радиуса округления режущей кромки у резцов из природных алмазов.

Увеличение сечения среза приводит к повышению сил резания. Однако интенсивность их увеличения при тонком и алмазном точении различна, что является особенностью алмазного точения. При малых сечениях среза P_z может быть больше P_z , так как при малых толщинах среза процесс резания предопределяется силами на задней поверхности. Важной особенностью алмазного точения являются меньшие в сравнении с тонким точением величины радиуса округления режущей кромки у алмазных резцов при их износе. По мере износа резца силы на задней поверхности увеличиваются, однако удельные нагрузки при этом уменьшаются, так как площадь износа увеличивается быстрее, чем сила. Поэтому создание на задней поверхности небольшой разгрузочной фаски повышает работоспособность инструмента.

Меньшая в сравнении с тонким точением работа резания при алмазном точении предопределяет и меньшее тепловыделение. Высокая теплопроводность алмаза обеспечивает невысокие температуры в зоне резания при обработке цветных металлов. При высоких скоростях резания температура в зоне резания редко превышает 200—250°C. Исключения составляют титановые сплавы, где температура поднимается до 700°C.

Наибольшее влияние на температуру оказывает скорость резания, наименьшее — глубина. В отличие от обычного точения, где основными источниками тепла является зона деформации и трения на передней поверхности, при алмазном точении с малыми толщинами среза главным источником тепловыделения является трение по задней поверхности. Поэтому тепловой поток направлен от задней к передней поверхности. При обработке цветных металлов большая часть тепла распределяется между деталью и стружкой. В случае обработки материалов, имеющих низкую теплопроводность, количество тепла, уходящего в резец, увеличивается. При точении цветных металлов температура поверхности детали, как правило, не превышает 100°C, что позволяет производить обработку без термических изменений в поверхностном слое. Низкое тепловыделение и малый нагрев детали и инструмента позволяют вести обработку с максимальной точностью, т. е. при минимальных температурных отклонениях размеров детали. При точении титановых сплавов, однако, как правило, значительно меньше, чем при точении твердосплавных инструментов, и температура нагрева не достигает значений, при которых начинаются фазовые и структурные превращения.

При лезвийной обработке медных, алюминиевых сплавов и других цветных металлов стойкость алмазного инструмента составляет сотни часов. Это позволяет вести обработку без подналадки и регулировки длительное время, что важно при эксплуатации станков с ЧПУ и систем ГАП.

Износостойкость алмазных резцов неодинакова при обработке различных групп материалов. Можно условно разделить обрабатываемые материалы на 3 группы. При обработке материалов первой группы (медь, латунь и бронзы, не имеющие твердых включений, алюминий и его сплавы без абра-

зивных наполнителей, магний, драгоценные металлы и т. д.) резцы выходят из строя, как правило, по случайным причинам: при остановке станка, его вибрациях, наличии в металле включений, при ударах и т. н.

Вторая группа (медные и алюминиевые сплавы, содержащие твердые и абразивные включения и др.) обрабатывается с медленным регулярным износом инструмента. Однако износ здесь не связан с температурой в зоне резания, так как ее уровень низкий.

К третьей группе материалов относятся титан и его сплавы, цирконий, ниобий, твердые сплавы, обработка которых вызывает возникновение высоких температур (600—700°C), т. е. таких, при которых износ сильно интенсифицируется.

Интенсивность и характер износа алмазных резцов при обработке каждой из трех групп материалов различные. Наибольшая стойкость алмазных резцов наблюдается при обработке материалов первой группы, наименьшая — механический износ алмазного резца. В результате адгезионных явлений на поверхности контакта, а также действия твердых частиц, входящих в состав обрабатываемого материала, происходит расшатывание отдельных блоков алмаза. Этому также способствуют высокие давления со стороны задней и передней поверхностей. Между блоками образуются трещины, которые при многократных ударах по режущей

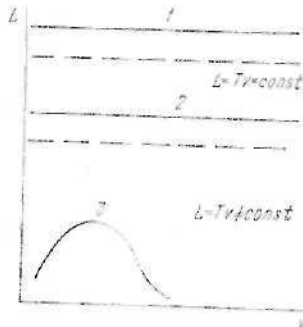


Рис. 29. Влияние скорости резания на длину пути резания при обработке материалов 1—3-й групп обрабатываемости (соответственно кривые 1—3) резцами из НСТМ (сплошные линии) и природных алмазов (пунктирные линии)

кромке и вибрациях, имеющих место в процессе резания, растут, проникая на значительную глубину в алмаз. Блоки алмаза, окруженные трещинами, теряют связь с инструментом и вываливаются. Здесь имеет место усталостная потеря прочности. Вывалившиеся частицы, как правило, падают под режущую кромку и, вываливаясь в обработанную поверхность, пролаивают на задней поверхности борозды.

Износ резцов при обработке металлов третьей группы связан прежде всего с высокими температурами в зоне резания. Поэтому имеет место сложный износ, в котором превалирует адгезионный механизм. Большое влияние на износ оказывают также межкуристаллитные превращения, интенсифицируемые высокими температурами, приводящие к потере прочности режущей кромки.

Характерной особенностью износостойкости резцов при точении материалов первой и второй групп является практически полное отсутствие влияния скорости резания на относительный износ алмазного резца (длину пути резания) (рис. 29). Износ инструмента зависит только от длины пути резания, который равен произведению стойкости инструмента на скорость резания ($L = T_v = \text{const}$), что свидетельствует об отсутствии влияния температурного фактора на процесс износа инструмента. Это является одной из важнейших особенностей процесса алмазной лезвийной обработки, определяющей методику выбора режимов резания.

Сопоставление износостойкости резцов из природных и синтетических алмазов показывает существенное преимущество последних. Это объясняется различием их структур и, следовательно, различием физико-механических свойств, предопределяющих износостойкость инструмента. У природного алмаза в результате усталостно-механического воздействия появляются трещины на режущей кромке, которые могут достигать значительных размеров. У синтетического алмаза, представляющего собой поликристалл, появляющиеся трещины тормозятся и останавливаются границами кристаллитов. Этим объясняется более высокая (в 1,3—1,7 раза) износостойкость

инструмента из синтетических поликристаллов алмаза по сравнению с природным. На износостойкость алмазного инструмента при обработке материалов третьей группы значительное влияние оказывает скорость резания. Зависимость $L = f(v)$ имеет горбообразный характер. Оптимальная работоспособность алмазных резцов проявляется при скорости резания, соответствующей максимуму длины пути резания.

Формирование поверхностного слоя алмазными резами значительно меньше обусловлено ролью физического фактора (адгезионное взаимодействие, температурное влияние и т. д.), чем при обработке другими инструментальными материалами, особенно для материалов первой и второй групп. На первый план выходят факторы, влияющие на образование микро-неровностей чисто геометрически. Фазово-структурные изменения в поверхностном слое или малы, или отсутствуют, так как уровень температур при обработке металлов первых двух групп недостаточен для этого. При лезвийной обработке некоторых алюминиевых сплавов на шероховатость обработанной поверхности оказывает большое влияние наростобразование, наблюдающее-

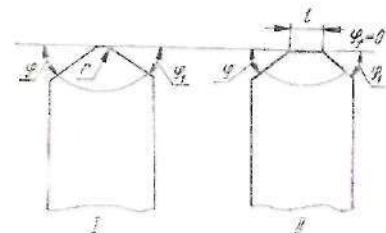


Рис. 30. Формы заточки резцов

ся в широком диапазоне скоростей резания. Из-за высокой теплопроводности алмаза даже при высоких скоростях резания температура в зоне резания не поднимается до значений, при которых нарост выражается.

Зависимость шероховатости обработанной поверхности от скорости резания качественно повторяет закономерности влияния скорости на коэффициент трения и усадку стружки, т. е. при алмазном точении медных сплавов скорость практически не влияет на шероховатость обработанной поверхности в широком диапазоне ее изменения. Некоторый рост шероховатости при высоких скоростях резания объясняется вибрациями обо-

рудования (рис. 29). При алмазном точении цветных металлов обеспечивается шероховатость обработанной поверхности $Ra = 0,22...0,7$ мкм, а при использовании хорошо доведенных резцов $Ra = 0,1$ мкм. При продолжном точении шероховатость в значительной степени зависит от точности установки резца в плане. При фасеточной форме заточки резца (рис. 30) он должен быть установлен так, чтобы фасетка была параллельна направлению подачи. Непараллельность не должна превышать $0^\circ 30'$.

Если с ростом подачи шероховатость традиционно увеличивается, то с увеличением глубины резания она изменяется незначительно.

Резцы из синтетических алмазов не обеспечивают такой низкий уровень шероховатости, как резцы из природных алмазов. Поликристаллическое строение не позволяет получить очень ровную режущую кромку у резца, так как при заточке сидельные блоки кристаллитов выкрашиваются, оставляя на ней вырывы, неровности. Причем, чем более крупнозернистый поликристалл, тем более шероховатая режущая кромка. При использовании поликристаллов алмазов с мелкозернистым строением и хорошей доводке инструмента можно приблизиться к результатам, получаемым при обработке лезвийным инструментом из природного алмаза.

Существенное влияние на шероховатость обработанной поверхности металлов первой группы оказывает износ инструмента, ухудшающий качество обработки. Характерной особенностью алмазной лезвийной обработки материалов второй группы, обладающих абразивными свойствами, является уменьшение высоты микронеровностей обработанной поверхности с ростом износа резца до $h_3 = 0,15$ мм. Это происходит из-за того, что площадь износа алмазного резца представляет собой развитую поверхность износа с множеством острых микрокромки, которые в процессе резания дошлифовывают обработанную поверхность.

Выбор величины износа алмазных резцов (критерий износа) регламентируется двумя факторами: качеством обработанной поверхности и себесто-

имостью обработки. При необходимости обеспечивать высокое качество обработки ($Ra \leq 0,3$ мкм), а также при обработке декоративных поверхностей величина износа ограничивается величиной $h_3 = 0,5...0,1$ мм. При точении материалов первой группы критерий износа определяется требуемой шероховатостью обработанной поверхности. При точении материалов второй группы, обработка которой характеризуется наличием усталостно-механического износа алмазного резца, в качестве критерия затупления принимается износ по задней поверхности $h_3 = 0,4$ мм. При таком критерии износа число переточек алмазного резца составляет 3—5. С уменьшением критерия износа по задней поверхности число переточек растет, однако суммарный путь резания не увеличивается, а наоборот, уменьшается. Себестоимость обработки возрастает. Поскольку для данной группы материалов, как правило, шероховатость обработанной поверхности слабо зависит от износа резца, то в нормативах режимов резания рекомендуется принимать $h_3 = 0,2...0,4$ мм.

При точении материалов третьей группы износ алмазных резцов носит ярко выраженный температурный характер со значительным увеличением радиуса округления режущей кромки. Таким образом, износ резца увеличивает теплонапряженность процесса резания. Поэтому при обработке титановых сплавов за критерий затупления принимается износ $h_3 = 0,2...0,8$ мм. Если же к шероховатости предъявляются повышенные требования, то принимается износ по задней поверхности не более 0,2 мм.

В табл. 44—50 приведены рекомендуемые значения геометрических параметров инструмента, режимов резания, подачи, допустимого износа и расхода резцов из синтетических алмазов при точении, растачивании и фрезеровании цветных металлов и титановых сплавов. Все данные приведены для двух марок ПСТМ, выпускаемых серийно — АСПК и АСБ.

Скорость резания рассчитывается по формуле

$$v = c_v (T^{0.4} K_s S^{0.6}).$$

Сила резания определяется из выражения

$$P_z = C_{P_z} v_{P_z}^2 f_{P_z}^2 S_{P_z}^2.$$

В последнее время начал выпуск новых марок ПСТМ — АТП и СКМ-Р. Результаты испытаний лезвийного инструмента, оснащенного АТП и СКМ-Р, позволяют утверждать, что по работоспособности они не только не уступают инструменту из АСПК, но и превосходят его. Поэтому при использовании инструмента из АТП и СКМ-Р ориентировочно можно пользоваться данными для АСПК.

ОБРАБОТКА СТАЛЕЙ И ЧУГУНОВ

Рекомендуемые геометрические параметры для различных типов резцов из композита 01 (альбора Р) при обработке закаленных сталей (HRC 50—57), высокопрочных и легированных чугунов приведены в табл. 51 [1], из композита 10 (гексанита-Р) — в табл. 52 [38, 39]. Вместо радиуса при вершине $r = 0,2...0,6$ мм можно применять зачистную фаску длиной $f = 0,2...0,4$ мм с углом в плане $\varphi_f = 0^\circ$ и задним углом $\alpha_f = 0...15^\circ$. Слишком острую режущую кромку рекомендуется притуплять алмазным осалком до $\rho = 20...40$ мкм во избежание сколов. При точении с ударом режущую кромку и вершину резца укрепляют фаской на передней поверхности шириной 0,1—0,3 мм с отрицательным передним углом до 20° или делают фаску по задней поверхности шириной 0,1—0,2 мм с углом $\alpha = 0^\circ$.

При точении спеченных вольфрамокобальтовых твердых сплавов для повышения стойкости и прочности режущей кромки инструмента из композита 01 и АСПК рекомендуется увеличивать отрицательный передний угол γ до $-15...-25^\circ$ [6, 10]. Геометрические параметры для резцов из композита 10 представлены в табл. 53.

44. Геометрические параметры алмазных резцов

Обрабатываемый материал	Инструментальный материал	$\gamma, \dots^\circ$	$\alpha, \dots^\circ$	$l, \text{мм}$	$r, \text{мм}$
Медь М1	А01, А02	3—5	6—10	0,2—0,4	0,2—4,0
Латунь Л63		0—5	10—12	0,2—0,3	0,2—4,0
Бронза БрАЖ 9-4		3—8	6—10	0,2—0,3	0,2—4,0
Дюралюмин Д16		0—2	10—12	0,2—0,3	0,2—5,0
Алюминиевый сплав АЛ25		0—(-5)	10—12	0,2—0,4	0,2—0,5
Алюминиевый сплав АЛ26	А01	0—(-5)	10—12	0,2—0,4	0,2—0,5
Титановый сплав ВТ6		2—(-8)	10—12	0,2—0,3	0,2—0,5

Примечание. Рекомендуется ϕ и ϕ_1 принимать равными 40° . ϕ_f — нулю и выбирать I или II форму заточки резца.

45. Режимы резания при алмазном точении и растачивании

Обрабатываемый материал	Инструментальный материал	$v, \text{м/с}$	$S, \text{мм/об}$	$f, \text{мм}$
Медь М1	Природный алмаз, А01, А02	5,0—11,6	0,02—0,06	0,01—0,3
		5,0—11,6	0,02—0,1	0,01—1,5
		5,0—11,6	0,02—0,1	0,01—1,5
Латунь Л63	Природный алмаз, А01, А02	5,0—11,6	0,02—0,1	0,01—0,5
		5,0—11,6	0,02—0,14	0,01—1,5
		5,0—11,6	0,02—0,12	0,01—1,5
Бронза БрАЖ9-4	Природный алмаз, А01, А02	5,0—11,6	0,02—0,06	0,01—0,3
		5,0—11,6	0,02—0,14	0,01—1,5
		5,0—11,6	0,02—0,12	0,01—1,5
Дюралюмин Д16	Природный алмаз, А01, А02	6,6—13,3	0,02—0,06	0,01—0,3
		6,6—13,3	0,02—0,1	0,01—1,5
		6,6—13,3	0,02—0,1	0,01—2,0
Алюминиевый сплав АЛ25	Природный алмаз, А01, А02	3,3—13,3	0,02—0,08	0,01—0,3
		3,3—13,3	0,02—0,3	0,01—1,5
		3,3—13,3	0,02—0,3	0,01—2,0
Алюминиевый сплав АЛ26	Природный алмаз, А01, А02	3,3—11,6	0,02—0,08	0,01—0,3
		3,3—11,6	0,02—0,3	0,01—1,5
		3,3—11,6	0,02—0,3	0,01—2,0
Титановый сплав ВТ6	Природный алмаз, А01, А02	1,6—3,0	0,02—0,08	0,01—0,2
		1,0—2,5	0,02—0,08	0,01—0,2

46. Коэффициенты для расчета скорости резания при точении и растачивании мягких сплавов

Обрабатываемый материал	Инструментальный материал	C_v	m	K_v	V_D	$T, \text{мин}$
Латунь Л63	А01	42300	1	0,4	0,65	900
	А02	28200	1	0,4	0,65	600
Бронза БрАЖ9-4	А01	13500	1	0,42	0,71	300
	А02	9000	1	0,42	0,71	235
Алюминиевый сплав АЛ25	А01	37100	1	0,4	0,35	360—720
	А02	26000	1	0,4	0,35	360—720
Алюминиевый сплав АЛ26	А01	14400	1	0,4	0,45	180—360
	А02	10000	1	0,4	0,45	180—360

47. Коэффициенты для расчета силы резания при точении и растачивании

Обрабатываемый материал	Инструментальный материал	C_{P_z}	z_{P_z}	K_{P_z}	V_{P_z}
Латунь Л63	А01	17	0	0,66	0,41
	А02	14	0	0,59	0,43
Бронза БрАЖ9-4	А01	60	0	0,62	0,54
	А02	54	0	0,68	0,62
Алюминиевый сплав АЛ25	А01	24,2	-0,08	0,74	0,56
	А02	7,8	-0,28	0,8	0,59
Алюминиевый сплав АЛ26	А01	14,4	-0,1	0,63	0,48
	А02	6,6	-0,26	0,64	0,53
Титановый сплав ВТ6	А01	215	-0,14	0,87	0,59
		—	—	—	—

48. Шероховатость обработанной поверхности Ra, мкм, в зависимости от подачи и обрабатываемого материала

Обрабатываемый материал	Инструментальный материал	Подача, мм/об			
		0,02—0,07	0,07—0,10	0,10—0,20	0,20—0,30
M1 Л63 БрАЖ9-4 Д16 АЛ25 АЛ26 ВТ6	A01	0,22—0,38 0,22—0,38 0,22—0,44 0,28—0,35 0,70—0,90 0,60—0,70 0,3—0,70	0,38—0,50 0,38—0,50 0,44—0,54 0,35—0,45 0,90—1,25 0,70—0,90 0,70—1,30	0,50—0,85 0,50—0,75 0,54—0,88 0,45—0,90 1,25—2,50 0,90—2,20 —	0,85—1,25 0,75—1,06 0,88—1,25 0,90—1,50 2,50—5,00 2,20—5,00 —
M1 Л63 БрАЖ9-4 Д16 АЛ25 АЛ26 ВТ6	A02	0,31—0,50 0,31—0,50 0,52—0,73 0,35—0,55 0,9—1,25 0,8—1,0 —	0,50—0,65 0,50—0,60 0,73—0,91 0,55—0,7 1,25—2,5 1,0—1,25 —	0,65—1,00 0,60—0,85 0,91—1,31 0,7—1,8 2,5—3,7 1,25—2,5 —	1,00—1,50 0,85—1,10 1,31—1,75 1,8—2,6 3,7—7,0 2,5—6,2 —

49. Допустимый износ и рекомендуемая стойкость резцов

Обрабатываемый материал	Инструментальный материал	Допустимый (критерийный) износ, мм		
		Шероховатость задана	Шероховатость не регламентируется	Стойкость, мин
Медь М1	A01 A02	0,05—0,1	0,2	400—900 400—900
Латунь Л63	A01 A02	0,05—0,1	0,2	400—900 300—600
Бронза БрАЖ9-4	A01 A02	0,05—0,1	0,2	150—300 100—235
Дуралюмин Д16	A01 A02	0,05—0,1	0,2	400—900 300—600
Алюминиевый сплав АЛ25	A01 A02	0,1—0,2	0,3	360—720 360—720
Алюминиевый сплав АЛ26	A01 A02	0,1—0,2	0,3	180—360 180—360
Титановый сплав ВТ6	A01	0,05—0,1	0,3	150—250

50. Рекомендуемые режимы резания при фрезеровании материалов торцевыми фрезами из А01 и А02

Обрабатываемый материал	v, м/с	S, мм/об	f, мм
Медь М1	4,0—6,6	0,01—0,15	До 1,0
Медные сплавы	5,0—10,0	0,01—0,15	До 1,0
Алюминий и его сплавы	6,5—10,0	0,01—0,15	До 1,0

51. Геометрические параметры резцов из композита О1

Тип резца	$\gamma, \dots^\circ$	$\alpha, \dots^\circ$	$\phi, \dots^\circ$	$\phi_1, \dots^\circ$	$\lambda, \dots^\circ$	$r, \text{мм}$
Прямой проходной	-5 ... -15	10—20	30—60	5—15	0—10	0,1—1
Подрезной отогнутый	-5 ... -10	10—20	90—100	0—5	0—10	0,1—1
Расточной для обработки отверстий:						
сквозных	0 ... -5	10—20	45—60	10—30	0—10	0,1—0,6
глухих	0 ... -5	10—20	90—100	0—10	0—10	0,1—0,6
Резьбовой (метрическая резьба)	0 ... -2	3—5	60	60	0	По резьбе

52. Геометрические параметры резцов из композита 10 при точении закаленных сталей, высокопрочных и легированных чугунов

Тип резца	$\gamma, \dots^\circ$	$\alpha, \dots^\circ$	α_1°	$\phi, \dots^\circ$	$\phi_1, \dots^\circ$	$\lambda, \dots^\circ$	$r, \text{мм}$
Прямой проходной	-12 ... -15	15	15	35	15	0	0,6—0,8
Расточной	-9	15—20	15	10	30	0	0,4—0,6
Подрезной	-5	9	9	50	50	0	0,4—0,6
Резьбовой	0	8	8	60	60	0	0,4
Координатно-расточной	0	12	12	45—90	15	0	0,2—0,4

53. Геометрические параметры резцов из композита 10 при точении твердых сплавов группы ВК (не менее 15 % Со)

Тип резца	$\gamma, \dots^\circ$	$\alpha, \dots^\circ$	$\varphi, \dots^\circ$	$\varphi_1, \dots^\circ$	$\lambda, \dots^\circ$	$r, \text{мм}$
Прходной	-15...-25	10-12	30-60	5-10	0-10	0,5-1,5
Расточной	-10...-15	10-12	45-60	10-15	0-5	0,5-1,0
Подрезной	-15...-20	10-12	60-70	10-15	0-10	0,5-1,5

Увеличение заднего угла α до 20° при точении закаленных сталей (HRC_2 58-66) повышает стойкость резцов из композита 01. Однако во избежание скола режущей кромки необходимо уменьшать продольную подачу ($S < 0,03 \text{ мм/об}$) [6].

При точении вязких сплавов, например сплавов на основе никеля, рекомендуются положительные углы γ (0° или 6°) и радиус при вершине $r = 2$ и 4 мм [50].

Температура резания при обработке закаленных сталей и чугунов инструментом из композитов 01 и 10 в зависимости от режимов обработки и износа h_3 определяется по формуле $\theta = C_0 \cdot S^{0.5} \cdot t^{0.5} \cdot h_3^{0.5}$. Данные для расчета приведены в табл. 54.

54. Коэффициенты для расчета температуры резания

Материал (твердость)	C	x_σ	y_S	z_t	h_n
Точение (композит 01)					
Сталь Р6М5 (HRC_2 62-64)	490	0,27	0,17	0,124	0,18
Сталь У10 (HRC_2 58-60)	470	0,22	0,145	0,09	0,16
Сталь 12ХН3А (HRC_2 55-57)	460	0,22	0,14	0,09	0,13
Сталь 45 (HRC_2 48-50)	450	0,2	0,12	0,08	0,12
Фрезерование (композит 10)					
Чугун С420 (H_B 190)	440	0,26	0,13	0,08	—
Сталь 40Х (HRC_2 48-52)	920	0,32	0,17	0,14	—

Силы резания, возникающие в процессе обработки сверхтвердыми материалами, возрастают с увеличением подачи и глубины резания, твердости обрабатываемого материала и уменьшаются с повышением скорости резания. Износ инструмента по задней поверхности h_3 на протяжении всего периода стойкости приводит к более стремительному росту составляющей P_y , чем составляющих сил резания P_x , P_z . Усадка стружки при этом изменяется в тесной связи с силами резания. Она уменьшается с увеличением твердости обрабатываемого материала, скорости резания и толщины среза.

Эмпирическая зависимость сил резания от режимов резания S , t , твердости обрабатываемого материала H , износа h_3 при точении имеет вид

$$P = C_P S^a t^b H^c + K_P l_k h_3, \quad (1)$$

где первое слагаемое — силы на передней, а второе — силы на задней грани инструмента; C_P , K_P — коэффициенты, зависящие от обрабатываемого материала; l_k — длина контакта режущих кромок резца с деталью, мм.

* Данные для расчета сил приведены в табл. 55. Зависимость (1) адекватна в диапазоне условий обработки: $S = 0,05...0,28 \text{ мм/об}$; $t = 0,15...0,5 \text{ мм}$; HRC_2 45-65; $h_3 = 0,05...0,5 \text{ мм}$; $\gamma = -10^\circ$; $\alpha = \alpha_1 = 10^\circ$; $\alpha = 45^\circ$; $\varphi_0 = 0^\circ$; $\varphi_1 = 15^\circ$; $\lambda = 0^\circ$; $l_f = 0,2...0,4 \text{ мм}$, ИСТМ — композит 01.

При фрезеровании торцовыми фрезами из композита 10 сила резания $P_z = C_{Pz} S^{0.5} P^{0.5} P^{0.5}$. Коэффициенты для определения силы фрезерования представлены в табл. 55.

55. Коэффициенты для расчета сил P_x , P_y , P_z при точении и фрезеровании

Обрабатываемый материал	C_{Pz}	C_{Py}	C_{Px}	K_{Pz}	K_{Py}	K_{Px}	x_P	y_P	z_P
Закаленная сталь 45	9,5	4,5	2,3	78	96	28	—	—	—
Закаленная сталь У10	11	5	2,5	110	126	40	—	—	—
Закаленная сталь 12М	11,5	5,2	2,6	115	135	41	—	—	—
Закаленная сталь 40Х	11	5	2,5	110	127	38	—	—	—
Закаленная сталь 5ХНМ	10,5	4,6	2,5	85	87	32	—	—	—
Чугун С420 (H_B 190)	2260	—	—	—	—	—	1,02	0,75	0,43
Сталь 40Х (HRC_2 48-52)	4390	—	—	—	—	—	1,05	0,73	0,22

В процессе резания главная и вспомогательная задние и передняя поверхности режущей части инструмента, находясь в контакте с обрабатываемым материалом, взаимодействуют с ним и подвергаются износу. Механическое и физико-химическое взаимодействия приводят к неравномерному распределению силовых и тепловых нагрузок на контактных поверхностях, адгезии и диффузии, химическим реакциям между элементами обрабатываемого и режущего материалов. Износ инструмента наблюдается в основном на задних поверхностях. С увеличением толщины среза, уменьшением твердости обрабатываемого материала износ частично захватывает переднюю поверхность инструмента. В начальный период резания резец быстро изнашивается по задней поверхности ($h_3 = 0,08...0,14 \text{ мм}$). Затем интенсивность износа заметно снижается и наступает нормальный период работы. За критерий затупления инструмента принимают высоту площадки износа по задним поверхностям в пределах $h_3 = 0,3...0,6 \text{ мм}$ в зависимости от условий и требований технологического процесса. При правильной эксплуатации инструмент выдерживает 5-10 переточек.

Площадки износа резцов на основе нитрида бора покрыты бороздками и дунками. Они образуются при окончательном механическом разрушении сверхтвердого инструментального материала.

Начало интенсификации износа наблюдается при температурах резания 900°C . При этом происходит фазовый переход кубической модификации нитрида бора в гексагональную, причем образование фазы α -BN начинается на границах зерен, что является причиной разрушения поликристаллов. Кроме того, образование этой фазы связано с большим увеличением объема вещества, приводящим к возникновению напряжений в поликристалле.

Рентгеноспектральный анализ подтверждает предположение о том, что износ инструмента из КБН при высоких скоростях резания происходит вследствие отрыва зерен из поликристалла. Количество зерен, введенных в обработанную поверхность, пропорционально относительному износу резца. Кроме того, выравнивание зерна приводит к параллелию самого поликристалла, вызывая износ рабочей поверхности режущей части инструмента.

Эмпирические зависимости стойкости инструмента от элементов режима резания при резании закаленных сталей и чугунов приведены в табл. 56.

6. Эмпирические зависимости стойкости T дрмпазита 10, 100 параметров режима резания при $h_s = 0,4$ мм

Марка ПСТМ	Марки стали (твердость)	Формула	Коэффициенты
K10	20X9П (HRC_s 54—58) X12П (HRC_s 54—58)	$T = \frac{25,4 \cdot 10^4 K}{2,44 S^{0,67} v^{0,72}}$	$K = 1$ $K = 2$
	20X9П (HRC_s 54—58) X12П (HRC_s 54—58)	$T = \frac{6,35 K}{2,44 S^{0,67} v^{0,72}}$	$K = 1$ $K = 2$
K01	P6M5 ШХ15 ХВГ Р 8	$T = \frac{52,6 \cdot 10^4 K}{2,16 S^{0,57} v^{0,3}}$	$K = 1$ $K = 0,9$ $K = 1,2$ $K = 1,1$
	12XН2А (HRC_s 55—57)	$T = \frac{6,8 \cdot 10^4}{2,12 S^{0,57} v^{0,48}}$	—
	У10 (HRC_s 58—60)	$\ln T = 4,56 - 0,26x_1 - 0,12x_2 - 0,14x_3 - 0,16x_1^2 + 0,07x_2^2 + 0,08x_3^2$	$x_1 = 2,284 \ln v - 6,1273$ $x_2 = 2,182 \ln S - 6,0259$ $x_3 = 1,8205 \ln T + 3,1919$

Наибольшее влияние на стойкость инструмента оказывают скорость резания, затем подача и глубина резания. При точении высокотвердых спеченных сталей более значительное влияние на стойкость резцов из эльбора-Р и гексанига-Р оказывает глубина резания [44].

С увеличением скорости резания в пределах 0,3—6,7 м/с стойкость инструмента при чистовом точении различных марок закаленных сталей в одних условиях может сначала повышаться и, достигнув максимальных значений, понижаться, а в других — только уменьшаться (табл. 57).

Повышение содержания легирующих элементов, в частности хрома, в закаленных сталях (HRC_s 45—65) приводит к заметному снижению стойкости резцов на основе нитрида бора, смещает максимумы стойкости в зависимостях $T = f(v)$ в сторону меньших скоростей резания (рис. 31). При точении сталей с малым содержанием хрома (сталь 40X с HRC_s 45, сталь ХВГ с HRC_s 60—64) максимумы стойкости инструмента на основе нитрида бора находятся в диапазоне 1,3—1,7 м/с, при увеличении содержания хрома (сталь ШХ15 с HRC_s 60—64, сталь X12M с HRC_s 60) — 0,75—0,83 м/с [30].

Сравнение стойкости инструментальных материалов на основе нитрида бора отечественного (белбор, киборит, двухслойные пластины Полтавского завода искусственных алмазов и алмазного инструмента и БПК ИСМАН УССР) и зарубежного (сумиборо BN 100 и BN 200) производства приведено на рис. 32—34. При точении без удара резцы из киборита имеют стойкость на 30—60 % выше пластины BN200, а пластины БПК заметно превосходят зарубежные при скоростях резания более 1,33 м/с.

С увеличением подачи (0,01—0,30 мм/об) и глубины резания (0,05—0,8 мм) при точении закаленных сталей стойкость инструмента монотонно снижается [46].

Стойкость инструмента на основе нитрида бора с ростом твердости обрабатываемого материала изменяется неоднозначно и может убывать или возрастать, принимать экстремальные значения (табл. 58) [30, 38, 49]. При обработке сталей 9XC, 45, P18 с увеличением их твердости стойкость резцов из композита 01 снижается, а стали ХВГ — повышается (табл. 59) [9].

Стойкость композита 10 при торцовом фрезеровании стали 40X (НВ 200)

57. Стойкость инструмента T в зависимости от скорости резания при точении закаленных сталей

Инструментальный материал	Обрабатываемый материал (марка)	Твердость HRC_s	v , м/с	S , мм/об	T , мин	T , мин, при скорости резания, м/с									
						0,33	0,5	0,83	1,0	1,17	1,33	1,57	2,0	3,33	5,0
Композит 01	ХВГ	60	0,7	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ХВГ	58	0,5	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ХВГ	58	0,4	0,07	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ХВГ	58	0,3	0,07	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Композит 02	ХВГ	60	0,7	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ХВГ	58	0,5	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ХВГ	58	0,4	0,07	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ХВГ	58	0,3	0,07	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Композит 09	ХВГ	60	0,7	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ХВГ	58	0,5	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ХВГ	58	0,4	0,07	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ХВГ	58	0,3	0,07	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Композит 10	ХВГ	60	0,7	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ХВГ	58	0,5	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ХВГ	58	0,4	0,07	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ХВГ	58	0,3	0,07	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Композит 10Д	ХВГ	60	0,7	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ХВГ	58	0,5	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ХВГ	58	0,4	0,07	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ХВГ	58	0,3	0,07	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12XН2БФА	60	0,4	0,08	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Рис. 31. Стойкость резцов на основе КНБ в зависимости от скорости резания и марки стали ($S=0,084$ мм/об; $t=0,1$ мм; $h_3=0,4$ мм):
1—40X13, HRC_{50-55} ; 2—ХВГ, HRC_{60-62} ; 3—Х13М, HRC_{58-60} ; 4—сталь 45, HRC_{45-48} ; 5—9ХС, HRC_{56-58}

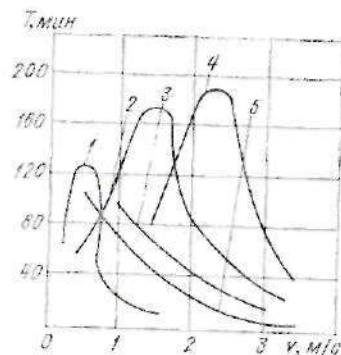


Рис. 32. Стойкость резцов при точении стали ХВГ с HRC_{60-62} в зависимости от скорости резания и марки инструментального материала ($S=0,084$ мм/об; $t=0,1$ мм и $0,2$ мм; $h_3=0,4$ мм):
1—болор; 2—киборит; 3—БПК (ПСМ); 4—БПК (ПЗНА); 5—композит 65-НТ

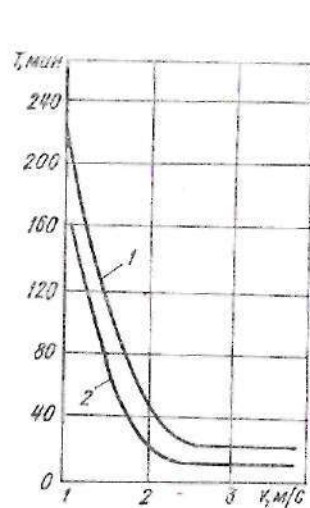
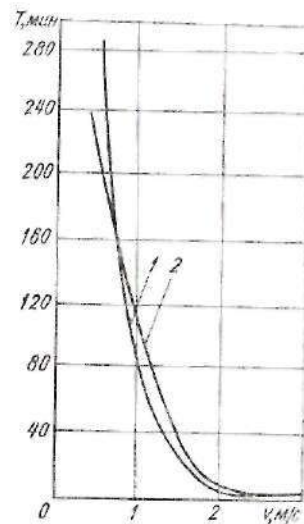
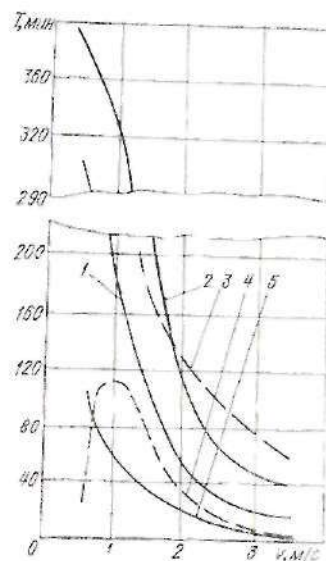


Рис. 33. Влияние скорости резания на стойкость пластины BN100 (1) и BN200 (2) „Sumitomo“ (Япония) при точении стали ХВГ HRC_{60-62} ; $S=0,084$ мм/об; $t=0,2$ мм; $h_3=0,4$ мм

Рис. 34. Стойкость резцов при точении стали 40X13 (54—56 HRC_{50}) в зависимости от скорости резания:
1—К02; 2—КН



58. Стойкость инструмента, мин, в зависимости от твердости стали ХВГ и марки композита

Марка	Твердость HRC_{50}					
	28	35	55	59	60	64
K01	30	45	65	80	80	60
K05	40	45	80	60	40	20
K10	25	40	45	45	40	30

Примечание. Условия обработки: $v=1,67$ м/с; $S=0,07$ мм/об; $t=0,20$ мм/об; $h_3=0,40$ мм.

59. Стойкость, мин, резцов из композита 01 при тонком точении сталей

Сталь	Твердость $HV (HRC_{50})$						
	200 (16)	300 (31)	400 (41)	500 (48)	550 (51)	700 (58)	850 (63,5)
ХВГ	35	45	52	60	80	80	60
9ХС	145	120	100	86	75	70	65
Сталь 45	160	140	115	95	—	—	—
P16	140	120	104	85	72	65	60
P6M5	140	120	104	85	72	65	60

Примечание. Условия обработки: $v=1,33$ м/с; $S=0,04$ мм/об; $t=0,7$ мм.

в 2—4 раза меньше, чем закаленной (HRC_{50}). Стойкость инструмента при средних режимах фрезерования закаленной стали 40Х составляет 150—200 мин.

Применение резцов из кибрита на автоматах продольного точения с ЧПУ (модели АПТ-901, АПТЗ-901 и др.) при обработке деталей приборов (осей, валов, штифтов) из нержавеющей стали 20Х13, 40Х13, 25Х13Н2 твердостью HRC_{28-32} позволяет повысить скорость резания по сравнению с твердосплавными в 2,5—3,0 раза, обеспечивает шероховатость обработанной поверхности $Ra=1,25...0,32$ мкм, точность обработки по 6—7 классам. Зависимости $T=f(v)$ для указанных нержавеющей сталей носят выстрелный характер, а с увеличением продольной подачи стойкость инструмента монотонно снижается. Для оснащения проходных автоматных резцов (с углом $\phi=90^\circ$), работающих с глубинами до 5 мм, используются подкристаллы из ПСТМ кибрит диаметром 7—10 мм, толщиной 3—5 мм.

Режимы резания, ориентировочная стойкость и шероховатость обработанной поверхности закаленных нержавеющей сталей различной твердости на автоматах продольного точения с ЧПУ приведены в табл. 60.

60. Рекомендуемые режимы резания, ориентировочная стойкость T инструмента из кибрита и шероховатость поверхности при точении нержавеющей сталей на автоматах продольного точения с ЧПУ

Марка стали	Режим резания			T , мин	Ra , мкм
	v , м/с	S , мм/об	t , мм		
20X13 в состоянии поставки	1,17—1,67	0,02—0,04	0,1—5,0	25—110	1,25—0,63
40X13 в состоянии поставки	1—1,5	0,02—0,04	0,1—5,0	20—180	1,25—0,63
25X13Н2 (ЭН474) в состоянии поставки	1—1,33	0,02—0,04	0,1—5,0	20—70	1,25—0,63
40X13 при HRC_{50-52}	0,5—1,0	0,01—0,4	0,1—5,0	20—90	0,63—0,32
25X13Н2 (ЭН474) при HRC_{50-54}	0,83—1,17	0,01—0,04	0,1—5,0	15—80	0,63—0,32

Резание чугунов сверхтвердыми материалами на основе нитрида бора производят при скоростях резания 3,33—50 м/с [8]. При фрезеровании серого чугуна марки СЧ 20 ($HV 190$) оптимальные скорости резания составляют 11,66—14,2 м/с. Стойкость фрез из композита 10 рассчитывается по формуле

$$T = C_T / (v^n S_2^p) / k, \text{ где } C_T = 9,7 \cdot 10^3; \quad n = 0,97; \quad p = 1,1; \quad k = 0,1; \\ v = 10 \dots 18 \text{ м/с}; \quad S_2 = 0,1 \dots 0,3 \text{ мм/зуб}; \quad t = 0,1 \dots 1,0 \text{ мм}.$$

Стойкость при средних режимах фрезерования серого чугуна составляет 450—500 мин.

Твердые сплавы рекомендуется обрабатывать резцами из ПСТМ на основе алмаза и нитрида бора [6, 10]. С повышением содержания кобальта в твердом сплаве стойкость резцов из ПСТМ возрастает. Увеличение подачи и глубины резания снижает стойкость инструмента, но в меньшей мере, чем повышение скорости резания. Стойкость резцов из АСПК больше эльборовых при точении без удара. При обработке с ударом резцы из АСПК применять не рекомендуется.

При резании твердых сплавов из-за их большой хрупкости на краях обработанной детали образуются крупные сколы. Чтобы их избежать, необходимо на входе и выходе режущей кромки из контакта с обрабатываемым твердым сплавом уменьшать сечение среза снижением подачи инструмента и путем предварительного создания фасок на концах заготовки.

Рекомендации по режимам резания закаленных сталей, чугунов и твердых сплавов приведены в табл. 61—63 [6, 8, 38].

61. Стойкость, мин, резцов из композитов разных марок при точении твердого сплава ВК25

Марка инструментального материала	S, мм/об, при								
	v = 0,17 м/с			v = 0,4 м/с			v = 0,9 м/с		
	0,02	0,07	0,14	0,02	0,07	0,14	0,02	0,07	0,14
K01	40	25	14	25	18	10	12	7	3
K10	50	32	17	30	20	11	15	9	4
K05	19	12	5	7	5	3	2	1	0,5

Примечания: 1. Условия обработки: $f = 0,2 \text{ мм}; \gamma = -10^\circ; \alpha = 8^\circ; \varphi = 35^\circ; \varphi = 15^\circ; t = 0,4 \dots 0,5 \text{ мм}; h_2 = 0,1 \text{ мм}$ [6].
2. При точении твердых сплавов ВК15 и ВК20 коэффициент обрабатываемости принимать равным соответственно 0,6 и 0,8.

62. Рекомендуемые диапазоны режимов резания инструментом из композита при точении и растачивании [8]

Обрабатываемый материал	Характер процесса резания	Марка композита	Режим резания		
			v, м/с	S, мм/об	t, мм
Конструкционные и легированные, инструментальные и подшипниковые стали, закаленные до твердости HRC ₂ 40—58	Без удара	K05; K01	0,8—3,0	0,03—0,20	0,05—3,0
	С ударом	K10; K10Д	0,5—2,0	0,03—0,10	0,05—1,0
Быстрорежущие, инструментальные, цементуемые стали, закаленные до твердости HRC ₂ 58—70	Без удара	K01	0,8—2,0	0,03—0,10	0,05—0,3
	С ударом	K10; K10Д	0,6—1,8	0,03—0,07	0,05—0,1
Серые и высокопрочные чугуны твердостью HB 150—300	Без удара	K05; K01	6,6—15,2	0,03—0,50	0,05—3,0
	С ударом	K10; K10Д	5,9—13,3	0,03—0,20	0,05—2,0
Отбеленные чугуны твердостью HB 400—600	Без удара	K05; K01	0,8—3,30	0,03—0,50	0,05—3,0
	С ударом	K05; K01; K10; K10Д	0,6—1,5	0,03—0,10	0,05—1,0
Твердые сплавы с содержанием кобальта не менее 15% твердостью HRA 80—83	Без удара	K10; K01; K10Д	0,08—0,3	0,03—0,10	0,03—1,0

Примечания: 1. Меньшие значения скорости резания выбираются из указанных диапазонов для тяжелых условий обработки.
2. Меньшие значения подачи назначаются при высоких требованиях к шероховатости обработанной поверхности.
3. Величина глубины резания определяется снимаемым припуском.

63. Рекомендуемые диапазоны режимов резания инструментом из композита при торцовом фрезеровании [8]

Обрабатываемый материал	Марка композита	Режим фрезерования		
		v, м/с	S, мм/зуб	t, мм
Конструкционные и легированные не термообработанные стали (в состоянии поставки) с HRC ₂ 30	K10; K01; K10Д	6,6—15,0	0,01—0,1	0,05—3,0
	K10; K01; K10Д	3,3—10,0	0,01—0,1	0,05—2,5
Конструкционные и легированные стали, закаленные до HRC ₂ 35—55	K10; K01; K10Д	1,3—5,0	0,01—0,05	0,05—1,5
Закаленные, цементуемые стали с HRC ₂ 55—70	K10Д	0,33—0,66	0,01—0,05	0,05—0,8
Быстрорежущие стали с HRC ₂ 60—70	K01	13,3—50,0	0,01—0,1	0,05—6,0
Серые и высокопрочные чугуны с HB 150—300 (в том числе по литейной корке)	K05; K10; K10Д; K01	3,3—13,3	0,01—0,1	0,05—4,0
Отбеленные, закаленные чугуны с HB 400—600	K10; K01; K10Д; K05			

Примечания: 1. Скорость резания выбирается максимально возможной для данного станка. Меньшие значения соответствуют более тяжелым условиям обработки.
2. Меньшие значения подачи назначаются при высоких требованиях к шероховатости обработанной поверхности.
3. Величина глубины резания определяется снимаемым припуском.

Минимальная высота микронеровностей при обработке закаленных сталей 45 и ХВГ резцами на основе КНБ наблюдается в диапазоне скоростей резания 1,7—2,7 м/с, причем высота микронеровностей поверхности, обработанной острым резцом, больше, чем обработанной приработанным (рис. 35). Наибольшая несущая способность обработанной поверхности деталей из стали 45 (HRC₂ 50...52) также находится в этом диапазоне скоростей резания (рис. 36).

Увеличение подачи приводит к повышению шероховатости обработанной поверхности, а изменение глубины резания в диапазоне 0,2—0,6 мм практически не влияет на шероховатость (рис. 37). Уменьшение глубины резания до 0,05 мм увеличивает высоту микронеровностей. С увеличением радиуса при вершине резца величина Ra уменьшается [37].

Зависимость шероховатости обработанной поверхности стальных деталей при изменении подачи, радиуса при вершине и твердости обрабатываемого материала HV определяется по формуле [6]

$$Ra = 47,1 S^{1,3} / (v^{0,42} HV^{0,19}),$$

а чугуновых деталей при точении и растачивании резцами из КНБ—

$$Ra = 119v^{0,83} S^{0,49} / v^{0,39}.$$

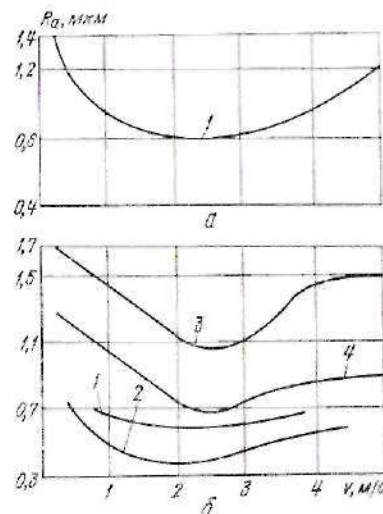


Рис. 35. Шероховатость поверхности при точении закаленных сталей в зависимости от скорости резания ($S = 0,084 \text{ мм/об}; t = 0,2 \text{ мм}$):

а — ХВГ, HRC₂ 60—62; б — сталь 45, HRC₂ 50—52 (1 — кибрит; 2 — белбор; 3 — кибрит при $h_2 = 0$; 4 — гексагит-Р)

При торцовом фрезеровании фрезы из ПСТМ режимы резания оказывают такое же влияние на шероховатость, как и при точении, за исключением подачи, степень воздействия которой выше. На стальных поверхностях достигается величина Ra значительно ниже, чем на чугунных. Шероховатость Ra при фрезеровании сталей определяется зависимостью $Ra = 18,7 S_z^{1,22}$, чугунов — $Ra = 2,75 S_z^{0,1}$.

Наибольшее влияние на величину и глубину распространения остаточных тангенциальных напряжений оказывает радиус округления режущей кромки r [37]. Увеличение r приводит к росту глубины распространения

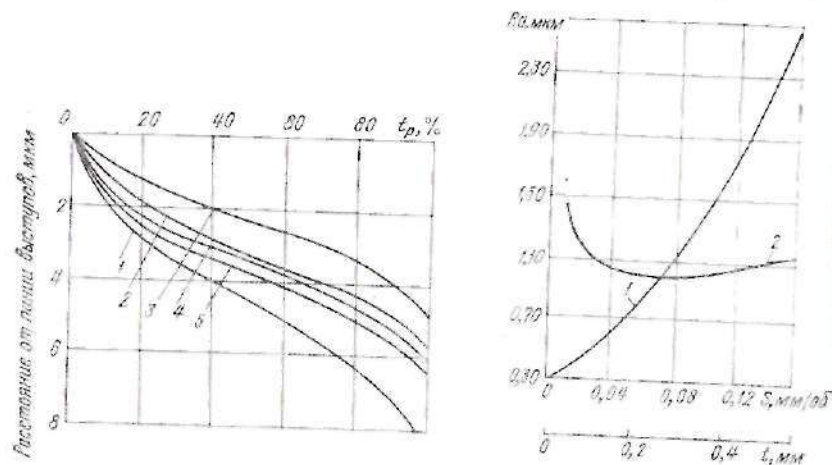


Рис. 36. Относительная опорная длина профиля t_p при точении стали 45 (HRC_{50-52}) резцами из кибрита с различными скоростями резания: 1 — 0,5 м/с; 2 — 1,33 м/с; 3 — 2,17 м/с; 4 — 4 м/с; 5 — 4,83 м/с

Рис. 37. Шероховатость поверхности в зависимости от подачи (f) и глубины резания (a_p) при точении резцами из кибрита ($b_s = 0,25$ мм, сталь ХВГ, HRC_{60-62})

остаточных напряжений сжатия и их максимумов. Углы в плане существенно не влияют на величину остаточных напряжений. Повышение скорости резания (температуры) при обработке высокотвердых закаленных сталей увеличивает уровень максимальных сжимающих напряжений σ_{max} до определенной величины, затем снижает его (рис. 38). С ростом подачи инструмента максимальные напряжения монотонно увеличиваются. В зависимости $\sigma_{max} = f(S)$ наблюдаются один-два экстремума. Повышение подачи способствует смещению значений σ_{max} в глубь слоя и увеличению глубины залегания сжимающих напряжений (рис. 38). При обработке стали ХВГ (HRC_{60-62}) изменение глубины резания в пределах 0,1—0,3 мм практически не влияет на максимальные остаточные напряжения. Однако при $t = 0,05$ мм и $t = 0,63$ мм наблюдается заметное повышение уровня σ_{max} .

При точении стали У10А (HRC_{62}) зависимость максимальных напряжений сжатия от режимов обработки определяется выражением $\sigma_{max} = -42,3 - 22,8f + 92S - 0,12v + 116r$.

Увеличение износа инструмента приводит к возрастанию максимумов сжимающих напряжений, смещению их в глубь слоя (рис. 38). При этом наблюдается значительный рост толщин слоев с напряжениями сжатия. В тонком приповерхностном слое возможно формирование растягивающих напряжений.

Снижение твердости закаленной стали уменьшает максимумы растягивающих напряжений, а также изменяет характер их распределения по глубине слоя. Увеличение твердости стали способствует повышению σ_{max} и глубины распространения сжимающих напряжений (рис. 38).

Приложение той или иной марки инструментального материала на основе нитрида бора также сказывается на формировании напряжений. Так, при точении стали ШХ15 (HRC_{62}) резцами из композита 01 и композита 10 максимальные сжимающие напряжения соответственно равны 850 и 400 МПа. Более низкий уровень σ_{max} объясняется тем, что процесс резания композитом 10 (из-за меньшей его теплопроводности) более теплонапряженный, чем при точении композитом 01.

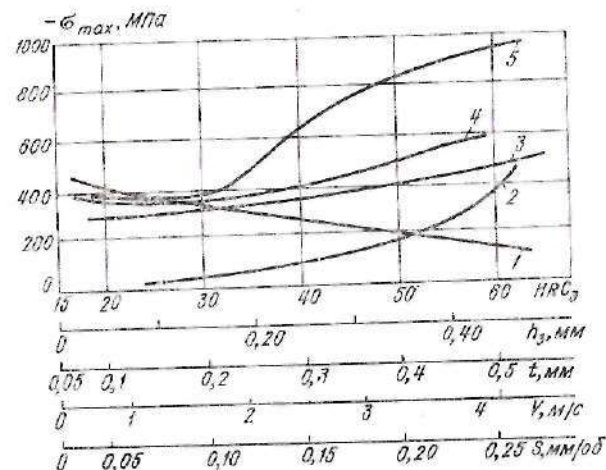


Рис. 38. Влияние скорости резания (1), твердости обрабатываемого материала ХВГ (2), глубины резания (3), износа инструмента (4) и подачи (5) на максимальные тангенциальные остаточные напряжения в поверхностном слое при точении резцами из КНБ

ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ С УПРОЧНЯЮЩИМИ ПОКРЫТИЯМИ

Покртия твердостью HRC_{35-40} достаточно надежно обрабатываются инструментом из твердых сплавов. При твердости покрытия в диапазоне HRC_{40-45} обработка их твердосплавным инструментом затруднена, а при большей твердости практически невозможна. Улучшить технико-экономические показатели обработки высокотвердых наплавов и напылений можно за счет применения инструмента, оснащенного поликристаллическими сверхтвердыми материалами (композит 10, кибрит, композит 01 и др.).

Инструмент из поликристаллов на основе КНБ позволяет обрабатывать различные наплавленные и напыленные материалы. Наиболее работоспособными являются поликристаллические сверхтвердые материалы тексанит-Р и кибрит. Резцы из указанных материалов позволяют удалять поверхностный слой покрытий, характеризующийся наличием значительных макротрещин, что наряду с неоднородностью структуры и свойств приводит к значительным динамическим нагрузкам на режущее лезвие инструмента. Для обработки ряда покрытий может быть использован инструмент из поликристаллов кибрита.

Чистовая обработка наплавов и напылений может производиться инструментом из композита 10, кибрита, композита 01 и других поликристаллических сверхтвердых материалов на основе КНБ.

Особенно эффективно применение инструмента с механическим креплением режущего элемента в державке. Обработка может производиться на универсальных и специальных станках, станках автоматах.

В табл. 64 приведены рекомендации по применению поликристаллов на основе КНБ при точении наплавленных и напыленных покрытий.

64. Работоспособность ПСТМ при точении покрытий

Способ покрытия	Твердость HRC ₉	Материал инструмента			Способ покрытия	Твердость HRC ₉	Материал инструмента		
		K10	K11	K01			K10	K11	K01
Наплавка	40—48	++	+++	+	Напыление	40—50	++	+++	+
	48—58	+	+++	—		50—60	+	+++	—
	58—65	—	++	—					

Примечание. Работоспособность ПСТМ: «+++» — наиболее высокая, «++» — высокая, «+» — удовлетворительная, «—» — неудовлетворительная.

Инструмент из поликристаллов кибрита позволяет производить удаление всего первого поверхностного слоя в один проход, т.е. работать с глубиной резания до 2,5 мм. Применение резцов из композита 10 наиболее эффективно при точении с глубиной резания до 1,0 мм. Дальнейшее увеличение глубины резания существенно снижает стойкость инструмента.

Геометрические параметры проходных резцов из композита 10 [4, 17, 27], композита 01 [17] и кибрита приведены в табл. 65.

65. Геометрические параметры проходных резцов из ПСТМ

Обрабатываемый материал	Твердость HRC ₉	Инструментальный материал	$\varphi_1, \dots^\circ$	$\varphi_2, \dots^\circ$	$\alpha_1, \dots^\circ$	$\alpha_2, \dots^\circ$	$\gamma, \dots^\circ$	$r, \text{мм}$	$l_f, \text{мм}$
ЦН-6	30—35	K10	35	—	15	—5	—	0,5	—
ЦН-12	30—35	K10	35	—	15	—5	—	0,5	—
Нп-30ХГСА	35—40	K10	40—45	15—20	10—15	—5—10	—	0,6—1,0	0,2
Нп-65Г	42—54	K10	35—40	15	10—15	—15	—	0,5	—
НП-АН122	52	K10	35	12—15	10—12	—9—15	—	0,5	0,3—0,4**
НП-АН106	56	K10	45	15	10	—10	—	—	0,2
НП-АН171	62	K10	36	12	12	—9	—	0,3	—
НП-СРЗ*	45—50	K10	35—45	12—15	10—12	—9—15	—	0,5	0,3**
СНГН-55*	56	K10	35—45	12—15	10—12	—9—15	—	0,5	0,3**
Нп-30ХГСА	48—52	K01	40—45	15—20	10—15	—5—10	—	0,6—1,0	0,2
Нп-65Г	42—54	K01	35—40	15	10—15	—15	—	0,5	—
НП-АН128	52—56	K11	35—45	15—20	10—12	—10—15	—	—	0,3—0,4
НП-АН106	56	K11	45	15	10	—10	—	—	0,2
НП-10Н-0,1*	50—55	K11	35—45	12—15	10—12	—9—15	—	0,5	0,3**

* Напыление.

** Фаска при $\varphi_0 = 0$.

Обработка деталей с покрытиями может производиться инструментом, оснащенным круглыми непереключаемыми пластинами, например, для кибрита с радиусом $R = 3,5 \text{ мм}$.

При выборе углов инструмента для обработки наплавленных и напыленных покрытий целесообразно руководствоваться следующими соображениями: режущий элемент должен иметь отрицательный передний угол, что по-

зволяет повысить его прочность; радиус при вершине резца следует принимать равным $0,3—1,0 \text{ мм}$ или переходную режущую кромку $l = 0,2...0,4 \text{ мм}$, с $\varphi_0 = 0^\circ$; главный угол в плане резца должен быть $\varphi > 30...35^\circ$, так как малые углы в плане обуславливают наличие значительной радиальной силы, что вряду с большой шириной режущей кромки способствует появлению вибраций, снижению точности обработки при недостаточной жесткости системы СПИД.

Отрицательный передний угол может выполняться только на фаске шириной $l = 0,2...0,4 \text{ мм}$, а на остальной части передней поверхности резца передний угол γ может быть равен нулю.

Обработка покрытий может производиться инструментом, оснащенным непереключаемыми многогранными или круглыми пластинами. Геометрические параметры резцов из непереключаемых пластин кибрита приведены в табл. 66.

66. Геометрические параметры резцов из кибрита

Тип резца	Форма пластины	$\varphi, \dots^\circ$	$\varphi_1, \dots^\circ$	$\alpha, \dots^\circ$	$\gamma, \dots^\circ$	$r, \text{мм}$
Проходной	Квадратная	45—60	30—45	7—11	—(7...11)	0,3—0,5
	Круглая	—	—	7—11	—(7...11)	3,5
Подрезной	Ромбическая	90	10	7—11	—(7...11)	0,3—0,5
	Квадратная	45—60	30—45	5—7	—(5...7)	0,3—0,5
	Круглая	—	—	5—7	—(5...7)	3,5

При удалении наиболее дефектного поверхностного слоя покрытия (корки) с глубиной резания до 2,5 мм следует заточивать инструмент с передним углом $\gamma = -(15...20)^\circ$, при этом большей твердости обрабатываемого материала соответствует меньшее значение переднего угла.

При использовании инструмента с механическим креплением режущего элемента в державке последняя должна оснащаться шлифованной подкладкой из твердого сплава, на которую устанавливается режущий элемент. Наличие такой подкладки позволяет избежать выхода из строя державки за счет деформации от действия усилий резания при высокой температуре в зоне обработки. Зажимющий участок прихвата также должен быть армирован твердым сплавом, что снижает износ прихвата сходящей стружкой и значительно повышает надежность работы инструмента.

Применение паяных резцов ограничивается глубинами резания до 1,0 мм, что связано с прочностью паяного соединения.

Для удаления припуска более 2,5—3,0 мм целесообразно использовать резцы с несколькими режущими элементами, каждый из которых удаляет припуск в пределах 1,0—1,5 мм.

При фрезеровании деталей с покрытиями могут быть использованы фрезы с механическим креплением зубьев, оснащенные круглыми или квадратными пластинами из кибрита. Режущий элемент на каждом зубе крепится с помощью клина или прижима.

Преимущества режущих элементов круглой формы из кибрита заключаются в следующем: возможен поворот пластины вокруг оси, что увеличивает период стойкости в 5—6 раз; при полном износе одной стороны пластины возможны ее переворот и использование опорной поверхности пластины в качестве передней поверхности инструмента; поскольку начальный диаметр пластины может быть принят равным 7—8 мм, возможна последовательная переточка пластины по диаметру до меньших размеров, что увеличивает общий период стойкости инструмента. В результате период стойкости до полного износа пластины увеличивается в 20—30 раз при условии отсутствия ее хрупкого разрушения.

Особенности процесса резания наплавленных и напыленных материалов определяются свойствами и структурой покрытий: наличием значительных микроступенчатостей на поверхности покрытия, закаленным состоянием,

структурной и химической неоднородностью, разнотвердостью материала покрытия; низкими пластическими свойствами многих покрытий; наличием повышенной пористости и трещиноватости слоя покрытия; присутствием в поверхностном слое шлаков и твердых включений; значительным оксидным слоем на поверхности покрытия. В связи с этим обработка покрытий сопровождается следующими явлениями: повышением температуры в зоне резания по сравнению с температурой материала того же химического состава

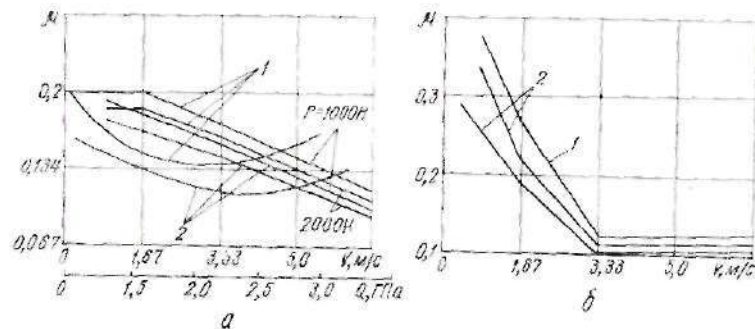


Рис. 39. Коэффициент трения в зависимости от скорости резания и удельного давления в контакте:
а — ПП-АН128; б — ПП-25Х5ФМС; 1 — титанат-Р, $P=1000$ Н; 2 — кибрит, $P=900$ Н и 1500 Н

в другом состоянии; образованием сучковатой стружки или стружки скалывания в отличие от обработки закаленной стали, когда образуется сливная стружка; появлением на внешнем и внутреннем краях стружки вырывов, разрывов, нелообразности; понижением степени пластической деформации в зоне резания и вторичной деформации стружки, что определяет уменьшение относительного сдвига и снижение усадки стружки; увеличением колебаний сил резания и контактных нагрузок на поверхностях инструмента.

При точении твердых наплавов усадка стружки составляет 1,1—1,8, что на 20—30 % выше, чем при точении резцами из твердого сплава Т15К6.

Коэффициент трения при точении наплавленных материалов зависит от скорости резания и удельного давления в контакте резца — детали (рис. 39). В используемом диапазоне скоростей резания величина коэффициента трения изменяется от 0,15 до 0,30 и зависит от твердости материала покрытия, снижаясь с увеличением последней.

Большое влияние на процесс резания наплавленных и напыленных деталей оказывает жесткость инструмента и металлообрабатывающего оборудования. Инструмент устанавливается в посадочном месте с возможно меньшим вылетом. Обработку целесообразно производить на станках повышенной жесткости.

Силы резания при обработке покрытий с увеличением износа инструмента существенно возрастают (рис. 40), что определяется увеличением площадок контакта инструмента с деталью и снимаемой стружкой, увеличением радиуса при вершине резца и искривлением режущих кромок. Это создает возможность для интенсификации застойных явлений в зоне резания.

Для расчета сил резания могут быть использованы зависимости вида (1), где $f_k = f_b + f_t \sin \varphi$. Значения коэффициентов к формуле для резцов из композита 10 приведены в табл. 67 [10].

67. Значения коэффициентов для расчета сил резания при использовании резцов из композита 10

Обрабатываемый материал	Твердость	C_{P_z}	C_{P_y}	C_{P_x}	R_z	R_y	R_x
Нп-30ХГСА	HB 228	2,0	1,5	0,7	50	20	45
ПП-АН122	HRC ₅ 56	7,5	6,8	3,0	37	70	30
Нп-65Г	HRC ₅ 64	8,4	7,9	3,5	40	75	36

Приведенные зависимости могут быть использованы при $v = 1,3...1,67$ м/с; $S = 0,06...0,20$ мм/об; $t = 0,1...0,5$ мм. Обработка без СОЖ.

Зависимость сил резания от износа инструмента имеет вид $P = CH_3^m$.

При точении резцами из кибрита твердых наплавов с глубиной резания более 1,5 мм характерным является превышение сил P_y и P_x над силой P_z , причем отношение P_y/P_z и P_x/P_z с увеличением износа возрастает. Это связано с большой величиной напряжений, возникающих на задней поверхности резца.

Значительная величина радиальной силы обуславливает возможность появления вибраций при недостаточной жесткости системы СПИД. Особенно это характерно при работе изношенным инструментом.

При обработке деталей с наплавленными и напыленными покрытиями резцами из ИСТМ возникают значительные температуры. Они оказывают существенное влияние на работоспособность инструмента и состояние обрабатываемого поверхностного слоя.

Для расчета температуры резания при точении деталей с наплавкой ПП-АН106 (HRC₅ 57) предложена зависимость [10]

$$Q = 6,7221 + 0,1485v + 0,0348S + 0,0393h_a + 0,050v^2 + 0,0332h_a^2$$

Зависимость справедлива для $v = 0,3...3,0$ м/с; $S = 0,02...0,28$ мм/об; $h_a = 0,05...0,4$ мм; $t = 0,05...0,4$ мм.

Наибольшее влияние на температуру оказывают скорость резания и износ инструмента по задней поверхности. Температура достигает 1000—1200 °С. Учитывая, что это средняя температура, можно предположить, что локальная температура на площадках контакта будет значительно выше.

С увеличением твердости покрытия HRC₅ > 58 стойкость инструмента из ИСТМ снижается, а эффективность его применения в сравнении с твердым сплавом возрастает.

Стойкость инструмента из ИСТМ на основе КНБ в большой степени определяется режимами резания. Существенное влияние оказывают скорость резания и подача, поскольку они обуславливают температуру на контактных поверхностях инструмента.

Влияние подачи на стойкость инструмента неоднозначно. Так, в процессе точения детали с покрытием ПП-АН128 при скорости резания 0,5—0,7 м/с увеличение подачи от 0,04 до 0,30 мм/об вызывает возрастание стойкости инструмента, а при скорости резания более 1,2 м/с — ее снижение (рис. 41). Это объясняется совместным вкладом скорости резания и подачи в теплообразование в зоне резания.

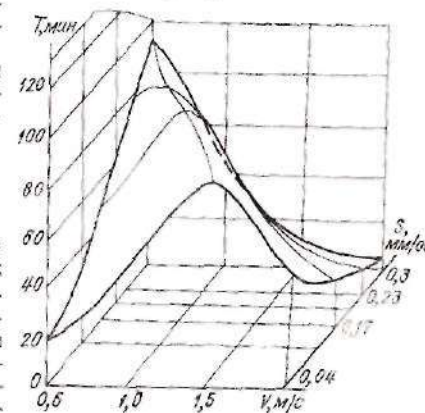


Рис. 41. Стойкость резцов из кибрита в зависимости от режимов обработки при точении наплавки ПП-АН128

Износ инструмента из ПСТМ на основе КНБ зависит от химического состава обрабатываемого материала. Наличие в составе материала покрытия титана Ti и хрома Cr резко интенсифицирует износ инструмента за счет химического взаимодействия на контактных площадках.

В широком диапазоне условий резания (температур) износ инструмента носит комплексный характер, включая абразивный, адгезионный, диффузионный и химический (окислительный и эвтектический).

В качестве критерия затупления резцов из композита 10 рекомендуется величина $h_3 = 0,6$ мм [10]. Для поликристаллов из кибрита при точении наплавленных и напыленных с охлаждением материалов следует ограничиться величиной $h_3 = 0,4$ мм. Для случая обработки покрытий типа Пн-65Г, нанесенных методом газопламенного напыления, можно принять за критерий износа $h_3 = 0,6$ мм.

При точении наплавленных покрытий резцами из композита 10 стойкость при черновой обработке в 2—4 раза ниже, чем при чистовой [27]. При чистовой обработке наплавов (например, Пн-30ХГСА, ПП-АН122) и напылений (например, ПГ-СР3, ПГ-СР4; СНГН-55) может быть использован инструмент из композита 01 и других композитов на основе КНБ (кибрит, композит 09 и т. д.).

На ниспадающей ветви кривой $T = f(v)$ стойкость резцов рассчитывается по зависимости $T = C_v v^m$. Значения коэффициентов приведены в табл. 68 [10].

68. Коэффициенты для определения стойкости инструмента

Обрабатываемый материал	Твердость HRC_0	C_T	m
Пн-30ХГСА	38	80	-0,58
ПП-АН106	52	65,4	-1,05

материалов с пониженной обрабатываемостью резанием. Для них затруднено получение поверхностного слоя с высокими показателями качества.

При обработке деталей с покрытиями значительно труднее достичь однородности микрогеометрии обработанной поверхности, чем при обработке литых и прокатных металлов. После первого прохода инструмента совокупность значений параметра Ra на обработанной поверхности неоднородна. Проверка по правилу Томпсона показала, что с вероятностью 99,5 % после второго прохода все элементы выборки Ra получены из одной и той же совокупности.

Поскольку пластическая деформация в зонах стружкообразования и контакта инструмента с обрабатываемым материалом зависит от скорости резания и подачи, последние существенно влияют на величину микрошероховатостей поверхности. Увеличение скорости резания вызывает монотонное снижение высотных параметров шероховатости поверхности.

При точении покрытий глубина резания практически не влияет на шероховатость поверхности, что связано со слабым влиянием глубины резания на процесс пластической деформации при резании.

Анализ высотных параметров шероховатости поверхности деталей с покрытиями, проведенный с помощью диаграмм Парсона, показал, что совокупность ординат профиля подчиняется β -распределению.

Значения параметров шероховатости поверхности, наплавленной проволокой ПП-АН128, после обработки резцами из кибрита могут быть рассчитаны по зависимости $y_i = b_0 + b_1 v + b_2 S + b_3 t + b_4 r + b_5 \varphi + b_{12} vS + b_{23} St$, где b_0 — свободный член уравнения регрессии; b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 — коэффициенты регрессии при соответствующих факторах процесса точения. Значения коэффициентов регрессии для наплавки ПП-АН128 приведены в табл. 69. Эти коэффициенты справедливы в диапазоне условий обработки $v = 0,45 \dots 2,6$ м/с; $S = 0,07 \dots 0,26$ мм/об; $t = 0,05 \dots 0,5$ мм; $r = 0,2 \dots 1,6$ мм; $\varphi = 25 \dots 60^\circ$.

69. Коэффициенты регрессии

Параметр	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_{12}	b_{23}
Ra , мкм	7,44	—	25,87	-1,02	-0,107	-3,63	-0,009	—
R_{max} , мкм	33,34	—	65,56	-0,93	-0,366	-12,02	—	-11,66
S_{mi} , мкм	174,91	1,15	383,4	303,3	-5,03	149,02	—	-937,6
ρ , мкм	-193,45	2,25	1032,65	695,65	-3,43	108,6	—	-3041,68
Δ	0,58	0,001	-0,042	-0,605	—	-0,309	-0,008	3,66
a	2,66	0,0035	-6,84	-2,39	—	-0,04	-0,01	9,94
b	3,74	-0,0003	-9,7	-2,37	0,0064	-0,72	—	11,29

В процессе резания в поверхностных слоях покрытия происходят структурно-фазовые превращения, приводящие к изменению их упрочненного состояния по сравнению с внутренними слоями материала. Эти явления вызывают изменение ширины интерференционных линий рентгеновского спектра, служащих характеристикой деформационного наклепа и упрочнения.

Максимальное упрочнение срезаемого слоя наблюдается при скорости резания 1,5—1,7 м/с. Дальнейшее увеличение скорости резания вызывает разупрочнение поверхностного слоя покрытия.

В табл. 70 и 71 приведены режимы точения различных наплавленных и напыленных материалов резцами из композитов 01 и 10 соответственно для черновой и чистовой обработки [27, 41], в табл. 72 — для точения покрытий резцами из кибрита.

70. Режимы чернового точения деталей с покрытиями

Покрытие	Материал	Твердость HRC_0	v , м/с	S , мм/об	t , мм	Средняя стойкость, мин
ПЛ-АН171	100X20P4C3Г2	62	1,8	0,06	0,3	15
ПП-АН106	10X14T	56	1,5	0,15	1,5	26
СНГН-55	70H30X15C4P3	56	1,8	0,06	0,25	18
ПП-АН122	30X5Г2СМ	52	1,05	0,09	0,3	30
Пн-12X18H9T	12X18H9T	35	1,2	0,15	1,0	—

71. Режимы чистового точения деталей с покрытиями

Покрытие	Материал	Твердость HRC_0	v , м/с	S , мм/об	t , мм	Шероховатость Ra , мкм
ПН-8	08X17H8C6Г	30—35	1,8—2,5	0,03—0,05	0,2	1,1—2,02
ПН-12	13X16H8M5C5Г4Б	30—35	1,8—2,5	0,3—0,5	0,2	4,3—5,1
Пн-12X18H9T	12X18H9T	35	2,0	0,075	0,15	0,8
Пн-30ХГСА	30ХГСА	48—52	1,5	0,07	0,1	0,3—0,8
ПП-АН122	30X5Г2СМ	52	1,6	0,075	0,15	0,63
ПП-АН106	10X14T	56	1,8	0,15	0,2	1,25
СНГН-55	70H30X15C4P3	56	2,4	0,075	0,1	1,25
ПЛ-АН101	300X25M3H3Г2	50—56	0,33—0,8	0,02—0,1	0,05—0,15	0,63—1,25
ПЛ-АН171	100X20P4C3Г2	62	2,2	0,06	0,1	0,63

Покрытие	Материал	Твердость HRC ₂	v, м/с	S, мм/об	f, мм	Средняя стойкость, мин	Переходная точность R _{ac} , мкм
ПП-АН120	18Х1Г1М	40-42	1,5-2,0	0,15-0,25	До 2,5	180-200	1,25-2,5
Пружина по ГОСТ 9389-75	65Г	40-45	1,67-2,0	0,1-0,3	До 2,5	90-120	0,63-1,8
ПП-25Х5ФМС	25Х5ФМС	42-46	1,5-2,0	0,1-0,25	До 2,5	90-120	0,8-1,5
Нп-Р2М8	Р2М8	45-48	1,0-1,2	0,1-0,25	До 2,0	90-120	0,8-1,8
ПП-3Х2В8	35В9Х3СФ	44-50	1,5-2,0	0,1-0,25	До 2,5	90-120	0,63-1,5
ЛС-5Х4В3МФС	50Х4В22М1ГСФ	46-50	1,33-1,67	0,1-0,2	До 2,0	80-100	0,63-1,5
ЛС-70Х3НМ	70Х3ГСНМ	50-54	1,0-1,33	0,1-0,2	До 2,0	60-90	0,63-1,5
ПП-АН122	30Х5Г2СМ	52-56	1,0-1,20	0,1-0,2	До 1,5	40-50	0,63-1,5
ПП-АН128	30Х2Г2СМ	52-58	1,0-1,20	0,1-0,2	До 1,5	40-50	0,63-1,5
ПЗ-АН11	550Х44Н34ГСР	54-62	0,5-0,8	0,1-0,15	До 1,0	40-50	0,8-1,5
Резинит-мелхизор	УС-4-мелхизор	—	0,15	0,1-0,5	До 1,5	100-120	—
ПП-АН170*	80Х20Р3Г	60-65	0,5-0,6	До 0,3	До 1,5	30-50	—
ПГ-СР3	ПН-ХН80С3Р3	47-52	0,7-1,2	0,1-0,2	До 1,5	40-60	0,8-1,8
ПГ-СР4	ПН-ХН80С4Р4	57-62	0,7-1,0	0,1-0,15	До 1,0	40-60	0,8-2,0
ПГ-10Н-01	—	50-55	0,7-1,0	0,1-0,2	До 1,5	40-60	0,8-2,0
ПГ-12Н-01	—	50-55	0,7-1,0	0,1-0,15	До 1,5	40-60	—
Нп-651**	65Г	45-50	1,0-1,5	До 0,3	До 2,0	50-80	—

* Наплавлено плазменной наплавкой.
 ** Наплавлено газоплазменным способом.

Систематизированных данных по режимам резания при других методах лезвийной обработки (фрезерования, сверления и т. д.) различных покрытий инструментом из ПСТМ в настоящее время еще не имеется. Для ориентировочного назначения режимов точения деталей с наплавленными покрытиями можно использовать данные, приведенные в табл. 73 [17].

73. Режимы обработки наплавленных деталей резцами из композита 10

Твердость покрытия HRC ₂	v, м/с	S, мм/об	f, мм	Твердость покрытия HRC ₂	v, м/с	S, мм/об	f, мм
20-30	1,6-2,0	0,12-0,15	0,7-1,0	40-50	0,8-1,3	0,07-0,10	0,3-0,5
30-40	1,3-1,6	0,10-0,12	0,5-0,7	50-60	0,5-0,8	0,05-0,07	0,2-0,3

Эффективность применения инструмента из ПСТМ при обработке деталей с покрытиями в сравнении с инструментом из других материалов может быть оценена с помощью коэффициента $k = W_2/W_1$, где W_1 , W_2 — относительный износ инструмента соответственно ПСТМ и другого материала, определяемый зависимостью $W = k_3/TQ$. Здесь k_3 — ширина фаски износа резца по задней поверхности за период стойкости мм; Q — производительность обработки, мм³/мин или г/мин.

Значения коэффициента k для обработки некоторых наплавленных и напыленных покрытий резцами из кибрита и твердого сплава Т15К6 приведены ниже:

Покрытие	k
Нп-65Г (наплавка)	25,4
Нп-65Г (напыление)	22,1
ПГ-10Н-01	23,4
ПГ-СР3	17,3
ПГ-3Х2В8	24,2
ПГ-АН120	16,2

Предлагаемый коэффициент k учитывает возрастание эффекта от применения инструмента за счет увеличения стойкости инструмента и повышения производительности обработки деталей с наплавленным и напыленным поверхностным слоем.

Глава 5

ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТА ИЗ ПСТМ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПЛАСТМАСС

Механическая обработка является обязательной, наиболее ответственной и трудоемкой операцией в техническом цикле получения изделий из синтетических и природных полимеров и особенно в технологическом цикле получения изделий из самых прочных пластмасс — полимерных композиционных материалов (ПКМ). Чем хуже обрабатываемость пластмасс, тем более эффективно применение инструмента из ПСТМ.

ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПКМ

Для назначения рациональных условий обработки резанием нужно знать обрабатываемость полимерной композиции, т. е. необходимо причислить ее к соответствующей группе обрабатываемости. Это делается в такой последовательности.

По стандарту на рассматриваемую пластмассу или техническим условиям устанавливают:

вид связующего наполненной или ненаполненной наполнителем — пластмассы — термопласт (ПТ) или реактопласт (РП);

природу наполнителя пластмассы — органическая (О) или неорганическая (Н);

структуру наполнителя пластмассы — порошок, волокно, ткань, листы и др. Составляя установленные по стандарту данные о пластмассе с данными граф 1 и 2 (табл. 74), а также с дополнительными данными, приведенными в графах 3 и 5, определяют группу обрабатываемости (графа 4).

Для установленной группы обрабатываемости по нормативу режимов резания следует выбирать материал инструмента, геометрические параметры его режущей части и величину максимально допустимого износа (критерия затупления). Все полимерные материалы гораздо чувствительнее реагируют на изменение условий обработки, чем металлы.

Формирование контактных поверхностей инструмента с пластмассой. Молекулярные цепи у полимеров имеют относительную подвижность. Это обуславливает то, что при внедрении режущего клина в обрабатываемый полимерный материал из-за сильного упругого последельствия δ пластмассы действительная толщина среза a становится меньше номинальной a_n : $a = a_n - \delta$. Величина δ определяется по формуле

$$\sigma = \left\{ \rho \left(\frac{1}{\sin \beta/2} - 1 \right) + l_{\alpha} \right\} \sin \alpha - \rho \left[\frac{\sin(\beta/2 + \alpha)}{\sin \beta/2} - 1 \right] K,$$

где ρ — радиус округления режущей кромки (0,005—0,08 мм); α — задний угол режущего клина (5° — 10°); β — угол заострения режущего клина (60° — 100°); l_{α} — длина контакта по задней поверхности, мм; K — поправочный коэффициент на измененные условия резания.

Упругое последельствие при обработке отверстий, пазов, канавок уменьшает их поперечный размер у различных пластиков на 10—200 мкм. Приведенная формула позволяет рассчитать одностороннее упругое последельствие и определить поперечный размер размерного инструмента. Поправочный коэффициент K учитывает свойства обрабатываемого материала, степень износа инструмента, его радиальное (поперечное) биение и выбирается в пределах 1,15—1,35.

В зависимости от природы полимера, его наполнителя, прочности адгезионной связи наполнителя с полимером, толщины среза, степени износа инструмента, температуры в зоне резания образуется или непрерывная стружка типа сливной без признаков текстурирования, или элементная стружка, или полностью диспергированная стружка (пыль), или стружка надлома. Полимерная стружка склонна прилипать к прикромочным поверхностям и струженным пространствам (струженным канавкам) инструмента из ПСТМ и его металлическим частям.

Силы и температура резания. При обработке пластмасс вследствие их малой механической прочности и низкой твердости в сравнении с металлами сила резания в несколько десятков раз меньше, чем при резании железоуглеродистых сплавов. Из-за увеличенных площадей касания на задней поверхности инструмента, на которой действуют значительные силы упругого последельствия, радиальная составляющая в несколько раз больше главной составляющей, особенно когда задняя поверхность изношена. Это не позволяет достичь требуемого качества обработки поверхностей изделий, так как вызывает сколы и отслаивание слоев наполнителя.

Прочности и жесткости металлорежущих инструментов вполне достаточно для обработки любых пластмасс с любыми сечениями среза. Составляющие силы резания пластмасс рассчитывают по тем же формулам, что и при резании металлов. Несмотря на малую твердость и прочность ПКМ в сравнении с металлами, в зоне резания возбуждается высокая температура. Она почти всегда превышает термостойкость полимера (250—500°C), а при неблагоприятных условиях резания достигает термостойкости алмаза и быстрорежущей стали.

При средних режимах резания, например слоистых пластмасс, температура достигает 300—400°C, при неблагоприятных условиях резания — 450—550°C. Больше всего на изменение температуры влияют износ инструмента и скорость резания, меньше — подача и глубина резания.

74. Классификация обрабатываемости резанием термопластичных и термореактивных пластмасс

Наполнитель		Представитель	Группа обрабатываемости	
При-рода	Структура		№	Характеристика
1	2	3	4	5
А. Термопласты (ТП)				
Н	Газ	Пенополистирол, пенопо- лиэтилен, винилхлорид	1	ТП с газовым наполни- телем
Без наполнителя		Полиметилметакрилат (оргстекло), поликарбо- нат, полиолефины, поли- стирол, полиамид	2	ТП с органическим на- полнителем
О	Порошок	Полиамидная или другая смола с фторопластовым или с другим полимер- ным наполнителем		
О	Волокно	Органоластики с корот- ким полиамидным или другим органическим во- локном		
Н	Порошок	Полиэтилен, полистирол, поливинилхлорид, поли- пропилен	3	ТП с неорганическим, сравнительно нетвердым и малопрочным наполни- телем
Н	Волокно	Полиамид, фторопласт, полистирол, полиформаль- дегид и его сополимеры		
Н	Фольга	Фольгированные листы фторопласта, лавсана		
Б. Термореактопласты (РП)				
Н	Газ	Мипора, полиуретан	2	РП с газовым наполни- телем
Без наполнителя				РП без наполнителя
О	Порошок	Пресс-материалы на ос- нове фенольной, эпоксид- ной, полиуретановой и полиэфирной смолы	3	РП с органическим на- полнителем
О	Крошка	Пресс-материалы на ос- нове фенольной, амино- альдегидной и других смол с наполнителем из древесной, текстолито- вой, бакелитовой (неше- лочной) и другой крошки		
О	Волокно	Волокнисты с целлюлоз- ным, полиамидным, по- лиэфирным и другим во- локном		

Продолжение табл. 74

1	2	3	4	5
0 0 0	Ткань Гранулы (зерна) Листы	Текстолиты, органиты Гетинакс	3	РП с органическим наполнителем
Н	Порошок	Фенопласты, эпоксипласты, коллизирпласты с порошковым неорганическим наполнителем (графитопласты, металлопласты)	4	РП с неорганическим твердым и механически прочным наполнителем
Н	Волокно	Стекловолокниты, намоточные стеклопластики, пресс-материалы со стекловолокнистым наполнителем		
Н	Ткань	Стеклотекстолиты, стеклотенты для намотки стеклопластиков, асбестотекстолиты		
Н	Гранула (зерно)	Эпоксидные и другие пластики с наполнителем из стекломикросфер		
Н	Лист	Асбестопластики из асбестовой бумаги, картона		
Н	Фольга	Фольгированный стеклотекстолит, фольгированные стеклопластики и другие пресс-материалы		
Н	Проволока	Боропластики, стеклотекстолиты, армированные металлической сеткой	5	РП композиты с наполнителем из одно- или многожильной металлической проволоки или сетки

Примечание. Обрабатываемость пластмасс типа «сандвич» с послойно различными по свойствам наполнителями следует определять по наиболее труднообрабатываемому слою наполнителя.

Высокая температура приводит к термодеструктиванию полимера, а при неблагоприятных условиях резания (большой износ режущей части, стесненное резание инструментами с малой длиной главной режущей кромки) — и к катастрофическому износу алмазного инструмента.

Износ инструмента из ПСТМ вызывается действием трех факторов: механическим напряжением резания, механохимическими превращениями полимера, поверхностными адсорбционными эффектами на контактных площадках режущего клина.

При температуре в зоне резания, вызывающей термодеструкцию полимера, он карбонизируется, образуя субмикроскопические коксоподобные частицы, которые сильно интенсифицируют износ.

Под действием механических напряжений, теплоты и окислительно-химических процессов поверхностный слой обработанной поверхности пласт-

масс всегда оказывается дефектным. Толщина этого слоя составляет 20—400 мкм. Он имеет ухудшенные эксплуатационные свойства. В него внедрено 5—30 % продуктов износа инструмента. Толщина дефектного деструктивно-диспергированного слоя H обработанной поверхности зависит главным образом от степени износа инструмента и скорости резания: $H = Ch_0^{0.8}$

Этот слой весьма сильно поглощает влагу, что еще больше ухудшает качество изделий. Поэтому применение СОЖ при обработке пластмасс в большинстве случаев не допускается.

Алмазные ПСТМ как инструментальные материалы с наибольшей теплопроводностью и минимально изменяющимся радиусом округления режущей кромки обеспечивают наиболее высокое качество обработанной поверхности полимерных композиций.

Общие требования к режущему инструменту из ПСТМ. Специфические физико-механические и технологические свойства пластмасс, принципиально отличающиеся от свойств металлов, определяют следующие требования к режущему инструменту из ПСТМ:

1. Из-за сильного изнашивающего действия ПКМ следует для оснащения инструмента выбирать наиболее износостойкие инструментальные материалы на основе алмаза. ПСТМ на основе кубического нитрида бора целесообразно применять при обработке пластмасс с металлическим наполнителем из железуглеродистых сплавов.

2. Следует максимально допустимо увеличивать главные и вспомогательные задние углы, а при стесненном резании — вспомогательные углы в плане.

3. Служебно-транспортирующие канавки из-за налипания стружки и пыли необходимо делать с увеличенным по сравнению с обработкой металлов поперечным сечением и полированной поверхностью.

4. Значительно меньшая, чем при резании металлов, сила резания позволяет проектировать для обработки пластмасс менее прочный инструмент из ПСТМ, но с достаточной виброустойчивостью.

5. При изготовлении многокристального инструмента из ПСТМ нежелательны непосредственные стыки поликристаллов. Между составляемыми поликристаллами следует оставлять перемычку шириной 0,4—1,5 мм. На соседних зубьях поликристаллы и перемычки должны располагаться в шахматном порядке.

6. Технологические ленточки или фаски на режущих кромках инструмента из СТМ при их необходимости должны быть не более 10—20 мкм.

В табл. 75 приведены конструктивные параметры режущих инструментов из ПСТМ для обработки ПКМ. Эти параметры даны в зависимости от стандартных параметров инструментов для обработки металлов.

Качество обработки. При обработке гомогенных пластмасс структура материала заготовки в меньшей степени влияет на качество обработки, чем при резании полимерных композитов как с волокнистыми, так и с порошкообразными наполнителями.

На точности получаемых размеров, отклонениях формы и шероховатости поверхности детали оказываются погрешности технологической системы, упругое последствие полимера, температурные деформации ПКМ, размерный износ режущего инструмента. В табл. 76 приведена достигаемая точность обработки деталей из различных пластмасс при точении, растачивании, фрезеровании, сверлении.

Погрешность от температурных деформаций возникает вследствие того, что коэффициент линейного расширения пластмасс в несколько раз больше, чем металлических деталей. В частности, размеры деталей из термореактивных пластмасс изменяются под действием температуры в 2—4 раза больше, чем размеры аналогичных стальных деталей.

Размеры деталей из ПКМ изменяются и под действием влаги. Например, повышение влажности при хранении деталей из фенопластов вызывает изменение линейных размеров до 0,2 %. После механической обработки процесс впитывания и набухания происходит более интенсивно, так как при резании создается плотный поверхностный слой. На высотные и шаговые параметры микрорельефа в наибольшей мере оказывают влияние такие факторы,

75. Конструктивные параметры режущих инструментов из ПСТМ для обработки пластмасс в зависимости от параметров металлорежущих инструментов

Параметр	Обработка	
	металлов	пластмасс
Исполнительный (рабочий) размер инструмента	d	$d - \delta$
Число зубьев:		
торцовая фреза	z	$(0,4 \dots 0,7) z$
сверло	z	z
зенкер и развертка	z	$(0,4 \dots 1) z$
Критерий износа	h	$(0,2 \dots 0,5) h$
Ширина технологических ленточек и фасок у зубьев	f_d	$(0,1 \dots 0,5) f_d$
Радиус (начальный) округления режущих кромок	ρ_0	$(0,3 \dots 0,7) \rho_0$
Площадь (поперечная) сечения стружечных канавок	F_s	более $1,5 F_s$
Шероховатость прикромочных поверхностей режущего клина	Ra	$(0,3 \dots 0,5) Ra$
Главный задний угол	α	$(1,5 \dots 2,5) \alpha$
Вспомогательный задний угол	α'	$(1,5 \dots 2,5) \alpha'$
Передний угол	—	$0,5 \dots 1$
Главный угол в плане	φ	$(0,7 \dots 1) \varphi$
Вспомогательный угол в плане	φ'	$(1,5 \dots 3,5) \varphi'$
Угол подъема винтовой стружечной канавки	ω_k	$(1,5 \dots 2) \omega_k$
Прочность инструмента в целом	σ	$(0,1 \dots 0,5) \sigma$

76. Достижимая точность обработки резанием деталей из пластмасс

Обрабатываемый материал	Точность обработки	Качество			
		Наружное точение	Растачивание	Фрезерование	Сверление
Оргстекло	Повышенная	7—8	7—8	10	10
Полиэтилен	»	—	—	—	—
Полистирол	Нормальная	8—9	8—10	11—11	12
Аминопласт	Повышенная	7—8	10	—	—
Винилпласт	»	—	—	—	—
Фторопласт	Нормальная	10	11	—	—
Эбонит	»	—	—	—	—
Волокнит	Повышенная	7—8	—	—	—
»	Нормальная	7—8	—	—	—
Текстолит	Повышенная	7	7—8	10	10
Гетинакс	Нормальная	8—9	9—10	11—12	11—12
Стеклотекстолит	Повышенная	7—8	8	10	10
Стекловолокнит	Нормальная	8—9	10	11—12	11—12

как структура обрабатываемого материала, износ режущего инструмента и подача. На рис. 42 показаны характерные профилограммы обработанных в одинаковых условиях поверхностей различных марок полимерных композитов. Выступающие волокна стекло- и органикостеклопластиков, изготовляемых наматкой с последующим отверждением, повторяют на профилограмме структуру и расположение арматуры (материалы П-5-7-ЛПД и СППФ2). Поверхность стеклотекстолита СТЭФ-НТ, обработанного поперек волокон основы наполнителя, повторяет структуру материала. На профилограмме хорошо прослеживается периодичность выступов микронеровностей, соответствующих выступающим волокнам из полимерной матрицы. При обработке дисперсионного компаунда КДЖ-5-20 вырывы мелкодисперсного наполнителя

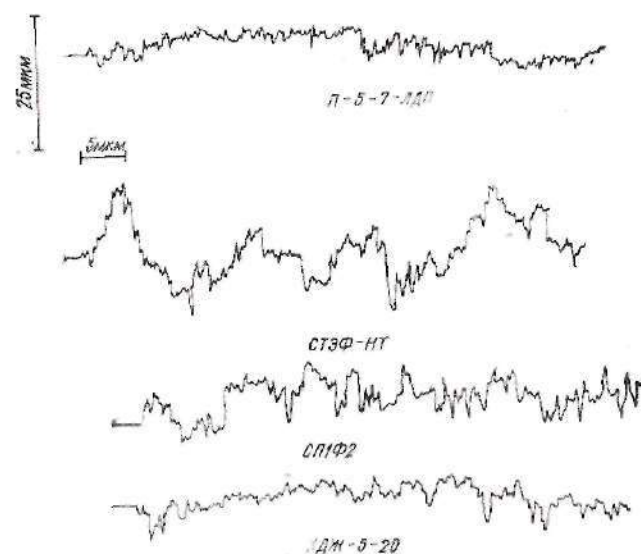


Рис. 42. Профилограммы шероховатости обработанной поверхности различных ПКМ

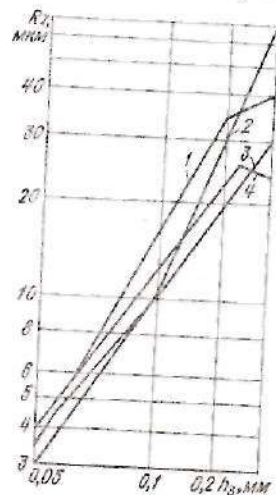
маршаллита, частицы которого соизмеримы с высотой микронеровностей, а также микроскопич. поры, вызванные присутствием газообразных компонентов в ПКМ, приводит к развитому микропрофилю.

С увеличением износа режущего элемента шероховатость обработанной поверхности возрастает при обработке всех ПКМ. Резко увеличивается высота микронеровностей у стеклотекстолита СТЭФ-НТ (рис. 43). Особенно возрастает шероховатость при увеличении износа по задней поверхности — выше значений $h_z > 0,2$ мм. Это объясняется снижением эффективности перерезания волокон наполнителя округленной режущей кромкой затупленного инструмента. При радиальном износе резца $h_r < 0,25$ мм высота микронеровностей обточенной поверхности из боропластика $Rz < 40$ мкм. При $h_r > 0,25$ мм наблюдаются ухудшение качества обработанной поверхности, выражающееся в появлении разломания поверхности, ворсистости, и резкое снижение точности обработки. Поэтому в качестве критерия допустимого износа при точении боропластика принимается радиальный износ $h_r = 0,25$ мм [42].

С возрастанием подачи шероховатость повышается практически для всех ПКМ за исключением дисперсионно-наполненных компаундов (рис. 44). Шероховатость поверхности композиций с порошкообразными наполнителями наименее чувствительна к изменению подачи инструмента.

Погрешности, возникающие вследствие внутренних напряжений, вызывающих изменение размеров не сразу, а по истечении некоторого времени.

На рис. 43 приведены зависимости остаточных напряжений от величины переднего и заднего углов, а также от износа по задней поверхности режущего элемента фрезы из карбонита. При нулевом и отрицательных значениях передних углов напряжения в поверхностном слое возрастают.



Критическому значению износа режущего элемента из карбонита соответствует ширина площадки на задней поверхности $h_3 = 0,35 \dots 0,40$ мм.

Оптимальные значения переднего и заднего углов, а также радиуса при вершине режущего элемента торцевой фрезы, обеспечивающие отсутствие остаточных напряжений в поверхностном слое ПКМ, следующие: $\gamma = 5^\circ$; $\alpha = 6^\circ$; $3 \leq r \leq 4$ мм.

Применение торцевых фрез, оснащенных круглыми режущими пластинами из карбонита и АТН, при обработке ПКМ позволяет повысить произ-

Рис. 43. Зависимость шероховатости обработанной поверхности различных ПКМ от износа торцевой фрезы из карбонита ($v = 3,9$ м/с; $S = 0,05$ мм/об; $t = 0,5$ мм; $\gamma = 0^\circ$; $\alpha = 11^\circ$; $r = 3,18$ мм): 1 — П-5-7-ЛДП; 2 — СТЭФ-НТ; 3 — СПФ2; 4 — КДЖ-5-20

водительность обработки в 1,6 раза, стойкость фрезы — в 16—25 раз по сравнению с твердосплавными из ВК15М, а также обеспечить стабильное качество поверхности.

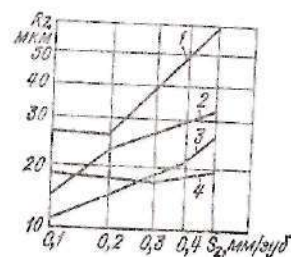


Рис. 44. Зависимость шероховатости обработанной поверхности различных ПКМ от подачи при торцовом фрезеровании ($v = 3,9$ м/с; $t = 0,5$ мм; $\gamma = 0^\circ$; $\alpha = 11^\circ$; $r = 3,18$ мм): 1 — СТЭФ-НТ; 2 — СПФ2; 3 — П-5-7-ЛДП; 4 — КДЖ-5-20

Рис. 45. Зависимость остаточных напряжений при торцовом фрезеровании от переднего (1) и заднего (2) углов, а также от износа по задней поверхности (3) при $v = 11,55$ м/с, $S = 0,2$ мм/зуб, $t = 0,5 \dots 0,8$ мм, $r = 3,18$ мм

При резании пластмасс на обработанной поверхности под действием механических сил, теплоты и окислительно-химических процессов образуется дефектный разрушенный слой, претерпевший механохимические пре-

ращения полимера и механодиспергирование наполнителя. Образующийся разрушающе-механодиспергированный слой поверхности пластмасс ухудшает эксплуатационные свойства деталей. Степень разрушения полимера в поверхностном слое пластмасс оценивается по количеству стабильных макрофракций. Внешне разрушение обработанной поверхности пластмасс проявляется в ее посветлении. Толщина дефектного слоя ПКМ достаточно точно определяется люминесцентной дефектоскопией и косыми срезами.

РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ И ГЕОМЕТРИЯ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПКМ

Наиболее благоприятные условия обработки ПКМ достигаются при использовании природных алмазов и ПСТМ на основе синтетических алмазов. При этом значительно уменьшаются составляющие силы резания (P_2 — в 1,2—1,4 раза, P_3 — в 4—6 раз) по сравнению с твердосплавными инструментами, снижается тепловая напряженность процесса (температура в зоне резания находится в пределах 400—800 К) при одновременном увеличении скорости резания до $v = 12 \dots 15$ м/с и уменьшении высоты микронеровностей обработанной поверхности Ra до 0,63—2,5 мкм. Стойкость режущих инструментов из ПСТМ повышается до 300 мин [1, 36].

Точение и растачивание. Точение капрона, обладающего низкой теплоустойчивостью и невысокой теплопроводностью, сопровождается оплавлением стружки, причем чем меньше толщина снимаемой стружки, тем ниже скорость резания, при которой наблюдается оплавление. Так, при точении без охлаждения с $v = 6,6$ м/с и $S \geq 0,13$ мм/об, $v = 8,3$ м/с и $S \geq 0,15$ мм/об, $v = 14,5$ м/с и $S \geq 0,2$ мм/об стружка не оплавляется. Уменьшение подач при указанных скоростях во всех случаях вызывает оплавление стружки, ее налипание. Чтобы избежать оплавления стружки при точении большинства термопластов 1 и 2-й группы обрабатываемости, например поливинилхлорида, нужно с увеличением скорости резания увеличивать подачу, и наоборот.

Точение и растачивание деталей из пластмасс 3-й группы обрабатываемости (гетинаксов, волоконитов и текстолитов), обладающих довольно высокой хрупкостью, требуют постоянного контроля за состоянием режущей кромки. Допустимое значение износа не должно превышать $h_3 = 0,10 \dots 0,15$ мм при чистовой обработке этих материалов.

При точении стеклонаполненных пластмасс 4-й группы обрабатываемости резец изнашивается от трения с чередующимися частицами стекловолокон и твердого полимерного связующего. Направление движения резца относительно волокон стеклоткани влияет на интенсивность износа и стойкость резцов. При точении вдоль волокон резцы изнашиваются значительно медленнее, чем при точении поперек волокон. Во втором случае скорость резания должна быть ниже, чем в первом, в 1,2—1,3 раза. При высоких скоростях резания температура в контакте инструмента с заготовкой возрастает до 870—900 К, что приводит к оплавлению и разрушению связующего, которое вытесняется из-под контактных площадок резца с деталью. Вместо него начинают контактировать частицы стеклоткани, твердость которых не снижается до температуры 1000 К. Увеличение скорости резания, а соответственно и температуры выше допустимых значений ухудшает качество обработанной поверхности.

Геометрические параметры режущей части резцов из АСВ, АСПК для чистового точения композитов на основе реактопластов приведены в табл. 77.

Использовать резцы из синтетических алмазов АСВ и АСПК можно не только при чистовом, но и при черновом и получистовом точении пластмасс. Сдвоенные резцы, оснащенные АСВ или АСПК, позволяют снимать за один проход припуск до 3,5 мм. Первый резец работает с глубиной резания $t_1 = 2 \dots 2,5$ мм, второй — с глубиной $t_2 = 0,8 \dots 1,2$ мм. Скорость резания $v = 4,0$ м/с, подача $S = 0,15 \dots 0,3$ мм/об. При обработке сдвоенными резцами деталей большой длины улучшается качество поверхности, уменьшаются на 40 % появление расслоений материала и образование трещин. Производительность труда по сравнению с обычной обработкой повышается в 1,5—2 раза.

Образцаемый материал	Марка ПСТМ	Уг ... °	α, ... °	Ф, ... °	φ ₁ , мм	r', мм
Орестекло	A01, A02	5	10-12	40	40	0,2...0,8
	A05, БПА	0...5	8...12	—	—	3,18
	АП18	0...5	10...12	—	—	4
	АП13,5	0...5	10...12	—	—	6,8
	A01, A02	0	10...12	40	30	0,2...0,8
Гетинакс	A05, БПА	0	10...12	—	—	3,18
	АП18	0	10...14	—	—	4
	АП13,5	0	12...15	—	—	6,8
	A01, A02	0...5	10...14	40...45	0,2...1,0	0,2...0,8
	A05, БПА	0...5	11	—	—	3,18
Стеклотекстолит СП, СТЭФ-Т, СТЭФ-ПТ	АП18	5...8	8...13	—	—	4
	АП13,5	5...8	8...15	—	—	6,8
	A01, A02	0...5	10...12	45	45	0,8
	БПА	0...5	11	—	—	3,18
	АП18	5...8	8...13	—	—	4
Стеклопластик АГ-4В, АГ-4С, ЭФ32-301	АП13,5	5...8	8...15	—	—	6,8
	A01, A02	3...5	10...12	45	15...30	0,2...0,8
	A05, БПА	5...8	6...9	—	—	3,18
	АП18	8...10	8...10	—	—	4
	АП13,5	8...10	8...10	—	—	6,8
Пресс-материалы типа П-5-2	A01, A02	3...5	8...12	30	15...30	0,3...0,8
	A05, БПА	8...10	8...10	—	—	3,18
	АП18	8...10	8...10	—	—	4
	АП13,5	8...10	8...10	—	—	6,8
	БПА, К11	8...10	8...10	—	—	0,3...0,8
Композиты с кварцевым песком, пластическая керамика	A01, A02	3...5	10...12	45	15...20	0,1...0,5
	БПА, К11	3...5	20	—	—	—
	A01, A02	3...5	10...12	—	—	—
Боролластик Стеклокерамика ВКП-2	БПА, К11	3...5	20	—	—	—
	A01, A02	3...5	10...12	—	—	—

Обобщенные рекомендации по назначению режимов резания различных марок пластмасс при алмазном точении приведены в табл. 78.

78. Режимы резания при алмазном точении и растачивании

Обрабатываемый материал	Марка ПСТМ	г. м/с	S, мм/сб	г. мм	R ₀ , мфм
Оргстекло	A01, A02, A03, БПА	8—14	0,03—0,3	0,01—1,0	0,32—1,25
	АТП8	8—12	0,3—0,6	0,1—2,5	
	АТП13,5	10—16	0,3—0,6	0,1—3,5	
	A01, A02, A05	10—16	0,3—0,8	0,2—7,0	
Гетинакс, текстолит	БПА	6,5—13,3	0,03—0,3	0,01—0,5	0,63—1,25
	АТП8	6,5—12	0,2—0,6	0,1—2,5	
	АТП13,5	7—14	0,2—0,6	0,1—3,5	
	A01, A02, A05	7—14	0,3—0,8	0,2—7,0	
Стеклотекстолит СТ	БПА	6,5—10	0,03—0,3	0,01—0,5	0,63—1,25
	АТП8	6,5—10	0,1—0,6	0,1—2,5	
	АТП13,5	7—10	0,1—0,6	0,1—3,5	
	A01, A02, A05	7—10	0,2—0,8	0,2—7,0	
Стеклотекстолит ФН	БПА	5—8	0,03—0,3	0,01—1,0	1,25—2,5
	АТП8	5—7	0,1—0,6	0,1—2,5	
	АТП13,5	6—9	0,2—0,7	0,1—3,5	
	A01, A02, A05	6—9	0,3—0,8	0,2—7,0	
Пресс-материал П-5-2	БПА	4—9	0,01—0,3	0,01—1,0	1,25—2,5
	АТП8	3—7	0,01—0,5	0,1—2,0	
	АТП13,5	6—10	0,1—0,6	0,1—3,0	
	A01, A02, A05	6—10	0,2—0,7	0,2—6,0	
Стеклопластик 27-63С	БПА	8—10	0,01—0,3	0,01—1,0	1,25—2,5
	АТП8	7—9	0,01—0,6	0,1—2,5	
	АТП13,5	9—10	0,01—0,6	0,1—3,0	
	A01, A02, A05	9—10	0,02—0,7	0,1—7,0	
Компаунд К-153	БПА	7—9	0,03—0,3	0,01—1,0	2,5—3,0
	АТП8	7—8	0,1—0,5	0,1—2,5	
	АТП13,5	8—10	0,1—0,6	0,1—3,5	
	A01, A02, A05	8—10	0,2—0,8	0,1—7,0	
Угледелистик УП-ТМЦ	БПА	3—7	0,03—0,2	0,01—1,0	1,25—2,5
	АТП8	3—6	0,1—0,4	0,1—2,5	
	АТП13,5	4—8	0,1—0,4	0,1—3,5	
	A01, A02	4—8	0,1—0,5	0,2—6,5	
Воропластик Стеклокерамика ВКП-2	БПА, К11	1,7	0,1	0,5	R ₂ = 40
	A01, A02	1,6—2,5	0,03—0,1	0,01—0,1	1,25—2,5

Серьезную проблему представляет обработка пластмасс 5-й группы обрабатываемости, например боропластиков. Это объясняется тем, что микротвердость волокон бора превосходит твердость таких инструментальных материалов, как быстрорежущие стали и твердые сплавы, и сопоставима с микротвердостью сверхтвердых материалов — натуральных и синтетических алмазов и композитов. Поэтому для точения боропластика могут быть применены только сверхтвердые материалы [42], причем и в этом случае соотношение микротвердостей инструментального и обрабатываемого материалов составляет всего 2,5, тогда как для эффективного осуществления процесса резания это соотношение микротвердостей должно составлять 4—6.

При обработке боропластика силы на задней поверхности составляют 30—50 % от суммарной силы резания, а порой превосходят силу, действующую на переднюю поверхность. Большие площади контакта по задней поверхности и значительные силы, действующие на нее, приводят к интенсивному изнашиванию именно задней поверхности, причем износ носит явно выраженный абразивный характер. Износ реза по передней поверхности практически отсутствует [42]. Сравнение интенсивности износа различных СГМ при точении боропластика показывает, что наиболее стойкими являются алмазные поликристаллы, менее — кибрит и альбор. Вместе с тем время работы резцов до износа $h_r = 0,25$ мм не превышает 10 мин. Это приводит к частой смене режущего инструмента и повышению затрат на переточку и подналадку резцов.

Сверление, зенкерование, развертывание. Алмазное сверление обеспечивает получение отверстий в сплошном полимерном материале 11—14-го квалитетов точности при высоте микронеровностей $R_z = 10...100$ мкм. В результате алмазного зенкерования качество предварительно полученных литьем, прессованием или механической обработкой отверстий улучшается до 11—12-го квалитетов, а шероховатость поверхности уменьшается до $R_z = 0,6...40$ мкм. При алмазном развертывании точность обработки соответствует 7—10-му квалитетам, а высота микронеровностей 0,2—10 мкм.

Для обработки цилиндрических отверстий в сплошном полимерном материале используют сборные (см. рис. 18, а, б), составные (18, в—г) и комбинированные (рис. 21, а, б) сверла. Известны конструкции сверл с многогранными пластинками, к которым припаяны поликристаллы из ПСТМ.

Двухперовое сверло (рис. 18, а, б), выпускаемое Харьковским инструментальным заводом, состоит из корпуса-хвостовика 1, имеющего две опорные площадки с резьбовым отверстием для крепежного винта 4, на которые устанавливаются взаимозаменяемые ножи 2 (правый) и 3 (левый). Каждый из них имеет три-четыре припаянных, расположенных в шахматном порядке, поликристалла из ПСТМ (СКМ-Р или АСВ). При износе или поломке ножей они могут быть заменены новым или специально перезаточенным. Конструкция предполагает замену взаимозаменяемых ножей без слесарной подгонки и регулирования. Рабочий размер (диаметр) такого сверла составляет от 18 до 80 мм.

Одно- (рис. 18, в) и двухперовые (рис. 18, г—з) сверла делают составными. Поликристаллы припаяют непосредственно к корпусу. Такие сверла, как и сборные, имеют прямые стружечные полости (канавки). У сверл, показанных на рис. 18, в, г, стружечные канавки сделаны винтовыми. Все шесть конструкций (рис. 18, в—з) предназначаются для обработки отверстий малого и среднего диаметров (3—30 мм).

Геометрические параметры сверл приведены в табл. 79.

После выбора инструментального материала исходя из требуемого качества обработанных поверхностей отверстия и состояния его кромок на входе и выходе назначают величину допустимого износа инструмента и подачи по табл. 80, данные которой распространены на представителей 4 и 5-й групп обрабатываемости пластмасс.

Ограничения на скорости резания при сверлении сверлами из ПСТМ накладывают низкая термостойкость полимера, степень износа инструмента и глубина сверления.

Скорости резания при алмазном сверлении ПКМ четвертой и пятой групп обрабатываемости в зависимости от подачи и глубины сверления приведены

79. Геометрические параметры режущей части сверл, зенкеров, разверток из ПСТМ, ...

Инструмент	γ	α	α	φ	λ
Сверло	5—10	8—20	8—12	45—90	0—15
Зенкер	0—5	15—16	8—12	50—60	0—15
Развертка	0—5	10—15	8—10	10—30	0—10

80. Подача при алмазном сверлении пластмасс 4-й группы обрабатываемости в зависимости от качества поверхностного слоя отверстия и степени износа инструмента

Характеристика качества поверхностного слоя отверстия	Шероховатость R_z , мкм	Ширина фаски и ширина инструмента по задней поверхности, мм (не более)	S , мм/об (не более)	Характеристика качества поверхностного слоя отверстия	Шероховатость R_z , мкм (не более)	S , мм/об (не более)
Шероховатость R_z , мкм	80	0,25	0,6	Сколы кромок, расслоение, мм	0,1	0,15
	40	0,25	0,6		0,15	0,3
	40	0,15	0,3		0,25	0,6
	20	0,15	0,3	Дефектный слой, мм*	0,1	0,15—0,3
	20	0,10	0,15		0,1	0,15—0,3
	10	0,10	0,15		0,1	0,15—0,3

* При глубине сверления менее двух диаметров.

81. Скорость резания при алмазном сверлении пластмасс 4-й и 5-й групп обрабатываемости в зависимости от подачи и глубины сверления

Группа обрабатываемости	Глубина сверления	S , мм/об	v , м/с
4	Не более 2d	0,15—0,3	0,75—1,7
4	(2—4) d	0,3—0,6	0,5—1,3
4	(2—4) d	0,15—0,3	0,5—1,3
4	(2—4) d	0,3—0,6	0,33—1,0
5	Не более 2d	0,1—0,3	0,33—0,6

Точные цилиндрические, ступенчатые и фасонные отверстия в деталях из труднообрабатываемых стеклопластиков получают зенкерованием. На рис. 21, а, б показаны комбинированные сверла-зенкеры для обработки отверстий под заклепки (а), винты (б). На рис. 19, а, б, в приведены конструкции алмазных зенковок для обработки точных конических отверстий в стеклопластике или других труднообрабатываемых ПКМ. Винтозубый зенкер с дополнительной направляющей ленточкой, представленный на рис. 20, а, используется при зенкеровании сравнительно глубоких цилиндрических отверстий в стеклонаполненных пластиках.

Геометрические параметры зенкеров приведены в табл. 79.

Режим резания при зенкерования цилиндрических отверстий в труднообрабатываемых пластмассах 4-й группы обрабатываемости ориентировочно можно назначать по данным табл. 80 и 81, снизив скорость резания в 1,5—2,5 раза при той же подаче на зуб.

При обработке конических отверстий алмазными зенковками режим резания из-за непродолжительности этой операции обычно назначают таким же, как при сверлении. При необходимости повысить стойкость инструмента скорость резания снижают в 1,5—2,5 раза.

При одновременном сверлении и зенкерования отверстий комбинированным алмазным инструментом скорость резания снижают в два-три раза по сравнению со скоростью обычного алмазного сверления, а подачу — на 30—50 %.

До настоящего времени развертывание как операцию, обеспечивающую повышенную точность и уменьшенную шероховатость при обработке пластмасс, применяют нечасто, а алмазное развертывание — очень редко.

На рис. 20 показаны развертки с восемью (а), четырьмя (б) и двумя (в) поликристаллами из СГМ, используемые для окончательной обработки цилиндрических отверстий в труднообрабатываемых намоточных стеклопластиках и других ПКМ. Геометрические параметры разверток приведены в табл. 79.

Режим резания при развертывании отверстий в пластиках 4 и 5-й групп обрабатываемости с учетом виброустойчивости системы СПИД можно назначать следующим:

v , м/с	0,17—0,23
S , мм/зуб	0,1—0,3
f , мм	0,3—1

Фрезерование. Из всех видов фрезерования при обработке пластмасс пока получило распространение лишь торцовое и концевое. Это объясняется трудоемкостью изготовления и сложностью эксплуатации других видов фрез из ПСТМ.

Торцовые фрезы из ПСТМ для обработки пластмасс делают сборными: либо с неподвижно установленными ножами с ПСТМ, задние углы которых получают при заточке в сборе, либо с отдельно заточенными ножами, имеющими регулировочное перемещение в радиальном и осевом направлениях.

Концевые фрезы из ПСТМ для обработки труднообрабатываемых пластмасс показаны на рис. 15. Все пять конструкций — двузубые сборные (б, д, е) или составные (а, г) хвостовые фрезы. Концевая фреза для обработки размерных пазов в высокопрочных труднообрабатываемых стеклопластиках (рис. 15, а, б) предполагает переустанавливаемое закрепление винтом 4 левого 3 и правого 2 окончательно заточенных взаимозаменяемых ножей на хвостовом корпусе 1.

Геометрические параметры режущей части фрез из ПСТМ для эффективной обработки пластика 4 и 5-й групп обрабатываемости приведены в табл. 82.

82. Геометрические параметры режущей части фрез из ПСТМ

Фреза	γ , ...°	α , ...°	α_1 , ...°	ϕ , ...°	ϕ_1 , ...°	ω , ...°	L , мм
Торцовая	—5—5	15—18	12—15	45—60	12—15	—15—5	0,5—2
Концевая	0	15—18	10—12	90	5—15	0	0,5—2

Вследствие трудоемкости перезаточки и регулирования положения режущих кромок число зубьев у торцовой фрезы в том случае, когда не играет роли производительность обработки, следует назначать минимальным.

Глубина резания при торцовом фрезеровании определяется размером ПСТМ или числом зубьев, снимающих весь припуск при их ступенчатом расположении.

Прочность поликристалла при фрезеровании пластмасс не ограничивает глубины резания.

Подачу следует выбирать исходя в первую очередь из требуемой шероховатости обработанной поверхности (табл. 83).

83. Подача, мм/зуб, при торцовом алмазном фрезеровании пластмасс 4-й группы обрабатываемости

Шероховатость R_a , мкм	Наполнитель обрабатываемого материала		Шероховатость R_a , мкм	Наполнитель обрабатываемого материала	
	дисперсный	волокистый		дисперсный	волокистый
6—10	0,05—0,10	0,03—0,08	20—40	0,15—0,20	0,12—0,15
10—20	0,10—0,15	0,08—0,12	40—80	0,25—0,35	0,2—0,3

Значительное влияние на шероховатость обработанной поверхности имеет степень износа режущей части зуба фрезы, в первую очередь — радиус округления режущей кромки. Критерием износа торцовых фрез из ПСТМ при обработке пластмасс 4-й группы обрабатываемости с дисперсным наполнителем является износ порядка 0,3—0,35 мм, с волокистым наполнителем — 0,25—0,3 мм.

Скорость резания

$$v = \frac{C_F D^q}{T^{m_1} K_{\Sigma} B^n},$$

где D — диаметр фрезы, мм; B — ширина фрезерования, мм.

Значения членов и показателей степени формулы приведены в табл. 84.

84. Значения постоянного коэффициента и показателей степени для определения скорости при торцовом фрезеровании пластмасс 4-й группы обрабатываемости инструментом из А02

Обрабатываемый материал	C	m	γ	α	α_1	n
Стеклотекстолит	$5,8 \cdot 10^{12}$	3,3	0,5	0,53	0	0,43
Конструкционный стеклопластик	$8,3 \cdot 10^{10}$	2,6	0,7	0,16	0	0,8
Асбестоцемент	$7,1 \cdot 10^8$	2,1	0,46	0,34	0	0,3

Рекомендуемые режимы резания при концевом алмазном фрезеровании пластмасс даны в табл. 85.

85. Параметры режима резания при концевом алмазном фрезеровании пластмасс 4-й группы обрабатываемости инструментом из А06

Обрабатываемый материал	v , м/с	S , мм/зуб	f , мм
Стеклотекстолит	1,13—2,5	0,1—0,25	До 40
Конструкционный стеклопластик	0,75—1,5	0,07—0,20	До 50
Асбестоцемент	1,7—2,5	0,1—0,3	—

ТИПОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИНСТРУМЕНТОМ ИЗ ПСТМ

ПРИМЕРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИНСТРУМЕНТОМ ИЗ ПСТМ

Обработка резцами из ПСТМ взамен шлифования применяется в настоящее время в технологических процессах изготовления самых разнообразных деталей.

Исходя из опыта применения инструмента из ПСТМ на основе КНБ и исследовательских работ, рекомендуются следующие технологические процессы [49], которые в 2—4 раза позволяют повысить производительность обработки по сравнению со шлифованием:

расточивание отверстий диаметром 6—30 мм в деталях из закаленной стали (кондуктора, шаблоны, различные втулки, калибры-кольца и т. п.) и чугунов;

расточивание отверстий с одновременным подрезанием торца в деталях из закаленной стали (детали пресс-форм, ролики, долбики) и чугунов;

точение многоступенчатых деталей типа валтиков, осей калибров с одновременной подрезкой торца и снятием фасок;

предварительная обработка деталей из закаленных сталей точением взамен шлифования, когда требуется снять значительный припуск; в этом случае после токарной обработки не наблюдается прижогов на обработанной поверхности, а при круглом наружном шлифовании абразивными кругами необходимо работать с глубинами резания менее 0,05 мм, чтобы избежать прижогов;

обработка деталей из высокопрочных сталей, работающих в тяжелых условиях при значительных знакопеременных нагрузках;

обработка фрезерованием направляющих чугунных станин и корпусных деталей металлорежущих станков взамен шлифования;

чистовое и тонкое фрезерование плоскостей деталей из закаленных сталей и чугунов на расточных и фрезерных станках, что по сравнению со шлифованием повышает качество обработки вследствие малого размера шага фрез и незначительного нагрева изделия;

фрезерование деталей из закаленной стали и чугуна значительной длиной (направляющих продольно-фрезерных станков);

обработка деталей из твердых сплавов группы ВК;

обработка деталей из закаленной стали и чугуна на токарных, расточных и фрезерных станках с ЧПУ при совмещении предварительной и окончательной обработки на одном станке, обеспечении окончательной обработки деталей со сложным фасонным или ступенчатым контуром с одного установа и от тех же баз, что и предварительная обработка;

обработка деталей приборостроения из закаленных или труднообрабатываемых нержавеющих сталей на продольных станках-автоматах с ЧПУ без дальнейшей доработки на универсальных станках;

получистовая и чистовая обработка деталей, упрочненных износостойкими высокотвердыми наплавками порошковыми проволоками, спеченными лентами при изготовлении и восстановлении;

получистовая и чистовая обработка деталей, упрочненных газотермическим напылением или наплавкой порошками взамен шлифования;

чистовая обработка деталей из жаропрочных сплавов на станках с ЧПУ. Эти технологические процессы могут быть реализованы в различных отраслях машиностроения и металлообработки при обработке деталей (табл. 86).

Инструменты, оснащенные материалами на основе КНБ, применяются для обработки типовых деталей в различных отраслях машиностроения. В табл. 87 приведены примеры применения резцов из КНБ при обработке деталей машин и показано повышение производительности их обработки по сравнению с традиционными технологическими процессами.

88. Типовые детали, обрабатываемые инструментом из ПСТМ на основе КНБ

Отрасль	Детали
Станкостроение	Корпусы, шпиндели, делительные диски, зубчатые колеса, втулки, кольца, фланцы, кронштейны, рычаги, оси, подшипники, направляющие станков, суппортов, станин
Инструментальное производство	Хвостовой и насадной инструмент, накатные ролики, калибры, кольца, оправки, детали пресс-форм, кондукторы, эталоны, детали универсальных сборных приспособлений
Авиастроение	Детали гидравлической аппаратуры, насосов, пары трения, детали шасси, диски турбин
Автомобилестроение	Блоки цилиндров, гильзы, маховики, тормозные барабаны, блоки шестерен, поршни клапанов, валы, оси, корпуса
Приборостроение	Корпуса, диски, зубчатые колеса, валки, оси, втулки, трубки, платы
Ремонтное производство: агропрома	Восстановленные наплавкой и напылением детали автомобилей, тракторов, комбайнов, сельскохозяйственной техники
горнодобывающих предприятий	Восстановленные детали горнодобывающей, транспортной, землеройной, обогатительной техники
металлургического производства	Прокатные валки, детали прокатных станов, колеса

87. Примеры применения резцов из КНБ при обработке деталей машин

Деталь	Обрабатываемый материал (твердость)	Режимы резания			Повышение производительности, раз
		v, м/с	S, мм/об	f, мм	
Делительный диск	ШХ-15 (HRC ₂ 54—56)	1,17	0,05—0,12	0,1—0,3	4,0
Ролик	ШХ-15 (HRC ₂ 58—61)	1,17—1,33	0,04—0,18	0,01—0,3	2,2
Червяк	40X (HRC ₂ 48—50)	1,33—1,5	0,03—0,08	0,05—0,2	3,5
Гильза	40X (HRC ₂ 48—50)	1,5—2,0	0,03—0,08	0,05—0,2	2,7
Рычаг	XBG (HRC ₂ 58—60)	1,67	0,04—0,1	0,1—0,4	3,1
Гайка	40X (HRC ₂ 48)	1,5—1,67	0,03—0,08	0,05—0,2	2,3
Фланец	ШХ-15 (HRC ₂ 59—61)	1,17—1,33	0,04—0,08	0,1—0,2	2,2
Втулка	ШХ-15 (HRC ₂ 59—61)	1,17—1,33	0,04—0,08	0,1—0,2	2,2

Продолжение табл. 87

Деталь	Обрабатываемый материал (твердость)	Режимы резания			Повышение производительности, раз
		v, м/с	S, мм/об	f, мм	
Зубчатое колесо	20X (HRC ₂ 59—60)	1,33—1,67	0,05—0,07	0,05—0,2	4,2
Шпиндель	18ГТ (HRC ₂ 58—62)	1,5—1,67	0,03—0,08	0,05—0,2	2,3
Колодка штампа	У8 (HRC ₂ 60—62)	1,43	0,07	0,2	3,5
Матрица	У8А (HRC ₂ 60—61)	1,33	0,03	0,2—0,5	4,0
Втулка	СЧ15	2,0	0,045	0,2	1,5
Пальца	Чугун	5,0	0,05	0,2	3,0
Втулка	СЧ21	3,3—4,2	0,1—0,15	0,2—0,3	4,5
Отверстия в корпусных деталях	СЧ32	3,3—5,0	0,05—0,07	0,1—0,5	2,0
Пуансон	ВК10КС	0,17—0,33	0,05—0,07	0,2—0,5	5,0
Палец рулевого управления	Наплавка ПП-АН120 (HRC ₂ 42—44)	1,67—2,0	0,15—0,25	1,5—2,5	3,5
Ось	Напыление ПГ-СР3 (HRC ₂ 47—52)	1,5—2,0	0,1—0,2	0,1—1,0	3,0
Шток подвески	Наплавка ПП-АН120 (HRC ₂ 42—44)	1,5—1,67	0,15—0,25	1,5—2,5	4,5
Палец	Напыление ПГ-СР4 (HRC ₂ 57—62)	1,17—1,5	0,1—0,2	0,1—1,0	4,0
Ось	20Х13 (HRC ₂ 35)	1,17—1,67	0,02—0,04	0,1—5,0	1,7
Трибка	25Х13Н2 (HRC ₂ 50)	0,83—1,17	0,02—0,04	0,10—5,0	1,7

Использование резцов, оснащенных поликристаллическим алмазом, при обработке массовых деталей, например поршней, позволяет получить требуемое качество обработанной поверхности после точения без последующего шлифования. Копирная обработка поршней из алюминиевых сплавов с содержанием кремния от 10 до 22 % производится круглыми режущими двухслойными алмазно-твердосплавными пластинами (БПА, АТП) на следующих режимах резания: $v = 100...4000$ м/мин; $S = 0,1...0,3$ мм/об; $f = 0,2...0,6$ мм. При этом обеспечиваются стабильно низкая шероховатость обработанной поверхности ($Ra = 0,25...1,25$) и высокая точность обработки (9—10 микрон).

Средняя стойкость резцов — 2—3 тысячи обработанных поршней.

Применение инструмента из поликристаллических алмазов при обработке ПКМ (стеклопластиков, стеклотекстолитов, органических полимеров) позволило практически не меняя технологического маршрута обработки деталей, резко увеличить режимы обработки. По сравнению с твердосплавным инструментом производительность обработки увеличивается в 4—6 раз, причем качество деталей, обработанных алмазным инструментом, улучшается.

При обработке точением резцами, оснащенными алмазно-твердосплавными пластинами АТП, таких деталей, как трубы из полимерных композитов типа П-5-2

П-5-7-ЛДП, СП1Ф3, стойкость резцов повышается в 10—15 раз по сравнению с резцами, оснащенными вставками твердого сплава марки ВК8.

При точении по корке полимерных композитов с наполнителями в виде нитридов и карбидов металлов стойкость резцов из АТП повышается в 20—25 раз по сравнению с той же группой твердых сплавов.

Фрезерование рентгеновских отсечивающих раскров типа РП из лавсана, эпоксиано-диановой смолы и свинца с использованием инструмента из нитрида и АТП позволяет повысить стойкость торцовых фрез в 25—40 раз по сравнению с твердосплавными из ВК15М.

Лезвийный алмазный инструмент успешно заменяет твердосплавный на черновых, получистовых и чистовых токарных, получистовых и чистовых фрезерных операциях обработки деталей из ПКМ.

Примеры применения поликристаллических сверхтвердых материалов приведены в табл. 88.

88. Примеры применения инструмента из ПСТМ на основе алмаза

Операция, обрабатываемые детали	Обрабатываемый материал	Режим резания			Замечания операции
		v, м/с	S, мм/об	f, мм	
Чистовое и получистовое точение деталей холодно-высодочных автоматов	Твердые сплавы ВК15, ВК20, ВК25	0,17—0,5	0,02—0,1	0,2—2,5	Шлифование
Чистовая копирная обработка поршней	Алюминиевые сплавы	1,7—9,2	0,15—0,3	0,2—0,6	Точение твердосплавными резцами
Чистовая расточка отверстий под пальцы в поршнях	То же	2,5—5,0	0,04—0,1	0,08—0,1	Расточка резцами из природных алмазов
Расточка отверстий в корпусных деталях	Алюминиевые сплавы	1,7—10,0	0,05—0,2	0,1—0,7	Расточка твердосплавными резцами

Все более широкое использование в машиностроении и ремонтном производстве упрочняющих покрытий привело к появлению технологии механической обработки деталей с различными труднообрабатываемыми покрытиями. Наиболее эффективно механическая обработка покрытий, нанесенных электролитовой, плазменной наплавкой, газотермическим напылением, производится лезвийным инструментом, оснащенным поликристаллическими инструментальными материалами на основе КНБ. Лезвийная обработка (точение, растачивание, фрезерование) позволяет заменить традиционные процессы чернового и чистового шлифования, повысить производительность обработки, получить детали требуемого качества. Примеры обработки наплавленных и напыленных деталей представлены в табл. 87.

Обработка фрезами, оснащенными режущими вставками из ПСТМ, используется на многих станкостроительных заводах. Внедрение фрез изменило технологические процессы обработки плоских, призматических, прямоугольных направляющих, направляющих типа «ласточкин хвост», опорных и направляющих поверхностей корпусных и базовых деталей металлорежущих станков. Взамен таких трудоемких операций, как предварительное и окончательное шлифование, шабрение рабочих поверхностей направляющих применяется операция чистового фрезерования фрезами с регулируемым вставками, оснащенными КНБ. Такими фрезами оснащаются продоль-

но-шлифовальные станки или станки типа «обрабатывающий центр». При этом производительность получистовой и чистовой обработки повышается в 2—3 раза (табл. 89).

89. Примеры применения фрез, оснащенных КНЗ, при обработке деталей

Деталь	Обрабатываемый материал (твердость)	Режим резания			Повышение производительности
		v , м/с	S , мм/мин	f , мм	
Направляющая столов станка ЗВ642	СЧ23 (HRC ₂ 48—55)	23,3	1500	0,3	3,0
Суппорт	СЧ20 (HRC ₂ 48—55)	19,5	2500—3000	0,3—0,5	2,5
Корпус	СЧ20 (HB8170—190)	14,2	1500—2000	0,05—0,5	2,8
Каретка станка 16K20	СЧ23	17,0	1500	0,1—0,3	4,0
Направляющие токарного станка	СЧ20 (HRC ₂ 45—48)	10,0—11,7	1500—2000	0,3—0,5	1,5
Фланец	ШХ15 (HRC ₂ 62)	2,5—4,2	0,1*—0,2	0,1—0,5	
Пазы токарных патронов:					
Т-образные	40X	1,8—2,7	70—90	0,15—0,2	2,2
П-образные	(HRC ₂ 54)	2,5—4,2	100	0,2—0,3	2,5

* Подача в мм/зуб.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ИНСТРУМЕНТОМ ИЗ ПСТМ

Экономическая эффективность от внедрения в производство инструмента из ПСТМ включает в общем случае несколько составляющих: уменьшение приведенных затрат на изготовление единицы продукции, снижение себестоимости единицы продукции (деталей), использование в народном хозяйстве средств труда с улучшенными качественными характеристиками, что приводит к уменьшению затрат, связанных с заменой и эксплуатацией деталей, или других затрат, связанных с эксплуатацией обработанных инструментом из ПСТМ деталей.

Внедрение инструмента из ПСТМ в технологических процессов с использованием этого инструмента может не влиять или, наоборот, влиять на уровень качества выпускаемой продукции. В первом случае обеспечивается снижение себестоимости продукции, а во втором, кроме того, снижаются издержки по применению этой продукции у потребителя [47].

Экономический эффект от внедрения новой или усовершенствованной технологии, не изменяющей качество продукции, определяют по формуле

$$\mathcal{E} = (Z_1 - Z_2)A_2. \quad (2)$$

Приведенные затраты на единицу продукции

$$Z = C + E_n K. \quad (3)$$

После подстановки в формулу (2) выражения для приведенных затрат (3) она приобретает вид

$$\mathcal{E} = [(C_1 - C_2) - E_n(K_2 - K_1)]A_2. \quad (4)$$

В некоторых случаях необходимо определить экономический эффект от производства или применения инструмента из ПСТМ. Тогда экономический эффект выражается следующим образом:

$$\mathcal{E} = [Z_1\alpha - Z_2 + (H_1' - H_2')n]A_2.$$

Приведенные затраты на использование единицы инструмента

$$Z = [C_n + C_{пер}(n_{ст} - 1)]/N.$$

При использовании инструмента с механическим креплением многогранных неперегриваемых режущих пластин

$$Z = C_n / N.$$

При использовании нового инструмента и технологии, обеспечивающей уменьшение себестоимости обработки деталей со сроком службы менее одного года и повышение ресурса их работы, экономическая эффективность определяется из выражения

$$\mathcal{E} = \left(\frac{C_1 + E_n K_1}{A_1 W_1} - \frac{C_2 + E_n K_2}{A_1 W_2} \right) A_2 W_2.$$

Экономический эффект внедрения нового инструмента и новой технологии при обработке деталей двигателя или других узлов транспортной, сельскохозяйственной, землеройной и другой техники с обеспечением снижения себестоимости ремонта и повышения ресурса работы рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E} = [(C_1 - C_2) + C_n L \left(\frac{1}{W_1} - \frac{1}{W_2} \right)] A_2 - E_n K.$$

Если невозможно определить конкретные сферы и условия для использования деталей общемашиностроительного применения (например, поршней, подшипников), обработанных инструментом из ПСТМ, при увеличении их долговечности, расчет годового экономического эффекта производится по формуле

$$\mathcal{E} = [Z_1(DH + 1 - H) - Z_2]A_2.$$

При увеличении выхода годных деталей (изделий) вследствие уменьшения затрат на технологические потери экономия определяется зависимостью

$$\mathcal{E} = A_2 \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2 Q_1} 100\%.$$

В некоторых случаях при ремонте техники, особенно импортной, или техники, работающей в условиях Крайнего Севера, возникают затруднения, связанные с получением запасных частей. Поэтому изготовление или восстановление производят ремонтные предприятия самостоятельно. Экономический эффект от замены покупных деталей деталями собственного производства

$$\mathcal{E} = (C - C' - E_n K)A_2.$$

Применение инструмента из ПСТМ при ремонте машин (а в некоторых случаях и при изготовлении новых) позволяет одновременно снизить затраты на ремонт (изготовление), удлинить межремонтный период и увеличитьработку машин. В этом случае экономический эффект рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E} = [(Z_1 + H_1 + E_n K_1 T_1)W_2/W_1 - (Z_2 + H_2 + E_n K_2 T_2)]A_2$$

В случае применения инструмента из ПСТМ при изготовлении продукции, поставляемой на экспорт, экономический эффект, полученный в результате экспорта продукции

$$\mathcal{E}_3 = (B_n K_n - Z_n)A_n.$$

Экономический эффект при использовании инструмента из ПСТМ для изготовления продукции, позволяющей сократить или заменить импорт

аналогичной продукции, определяют по формуле

$$Э_0 = (B_n K_n - Z_n) A_n$$

В приведенных формулах приняты следующие обозначения:

Z — приведенные затраты на единицу продукции, р., производимой с помощью базовой Z_1 или новой Z_2 технологии, инструмента и других, или народнохозяйственные затраты Z_n на производство единицы экспортной или отечественной продукции, заменяющей импортную;

A — годовой объем производства продукции (работы) по базовому A_1 и новому A_2 вариантам, поставки экспортом A_n импортной продукции A_m , заменяемой продукцией отечественного производства, натур. ед.;

C — себестоимость единицы продукции по базовому C_1 и новому C_2 вариантам, затраты на одну переточку $C_{пер}$ инструмента, р.;

F_n — нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений, равный 0,15;

K — удельные (на единицу продукции) капитальные вложения в производственные фонды по базовому K_1 и новому K_2 вариантам, а также эксплуатации, приходящиеся на одну машину (K_1 по базовому и K_2 по новому вариантам), р.;

α — коэффициент эквивалентности, показывающий, какое количество инструмента старой конструкции равноценно до полного износа по стойкости (работоспособности, количеству обрабатываемых деталей и др.) одному инструменту новой конструкции;

H — эксплуатационные издержки у потребителя при использовании машин, отремонтированных по базовому H_1 и новому H_2 вариантам, расходы по обработке изделий на одну операцию у потребителя инструмента базовой H_1 и новой H_2 конструкции (без учета стоимости самого инструмента), р.;

n — количество операций, выполняемых инструментом новой конструкции или число периодов стойкости инструмента $n_{ст}$ до его полного износа;

Π — оптовая цена единицы покупок изделий с учетом транспортных-заготовительных расходов (без налога с оборота), капитально отремонтированного двигателя (узла) Π_d , стоимость единицы инструмента Π_n (паяного или с комплектом непереключаемых режущих пластин), р.;

N — число деталей, обработанных инструментом до полного его износа, шт.;

W — срок службы (наработка) детали (узла машины) восстановленной по базовому W_1 и новому W_2 варианту технологии, мото · ч, ч, км;

L — среднегодовая эксплуатационная наработка (пробег) транспорта (двигателя, узла) мото · ч, ч, км;

R — ресурс капитально отремонтированного по базовому R_1 и новому R_2 вариантам двигателя, узла, мото · ч, ч, км;

D — коэффициент повышения долговечности, который определяется как отношение долговечности детали, обработанной при использовании инструмента из ПСТМ, к долговечности детали, обработанной по ранее применявшейся технологии;

H — удельный вес деталей в общем выпуске (потребности) деталей данной группы, при эксплуатации которых может быть использована достигнутая долговечность;

Q — процент выхода годных деталей (изделий) до Q_1 и после Q_2 внедрения инструмента из ПСТМ, %;

T — межремонтный период до T_1 и после T_2 внедрения инструмента из ПСТМ, ч;

P_n — цена единицы экспортной продукции, валютные р.

K_n — коэффициент перевода валютных рублей во внутренние.

Расчет отдельных элементов, входящих в формулы для определения эффективности, таких как себестоимость единицы продукции, капитальные вложения, эксплуатационные издержки, осуществляется по фактическим затратам или же по известным формулам, приведенным в различных изданиях по расчету экономической эффективности [22, 47].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абразивная и алмазная обработка материалов: Справ. / Под ред. А. Н. Резникова. — М.: Машиностроение, 1977. — 391 с.
2. Андросов Н. М. Механические свойства поликристаллических сверхтвердых материалов // Новые сверхтвердые материалы и прогрессивные технологии их применения: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. — К.: ИСМ АН УССР, 1985. — С. 67—68.
3. Арайзон М. А. Точение сталей и сплавов резцами из синтетических сверхтвердых материалов: Учеб. пособие. — Куйбышев: КуАИ, 1977. — 82 с.
4. Барабан В. П., Поволоцкий В. Ю., Виноградов Г. Б. Обработка твердых сплавов и наплавов резцами из гексанида-Р // Машиностроитель. — 1977. — № 3. — С. 24—25.
5. Боровский Г. В. Лезвийный инструмент из композита: Обзор. — М.: НИИМаш, 1979. — 52 с.
6. Боровский Г. В., Молодик С. У. Современные технологические процессы обработки деталей режущим инструментом из сверхтвердых материалов: Обзор. — М.: НИИМаш, 1984. — 87 с.
7. Боровский Г. В. Режущий инструмент из сверхтвердых материалов: Обзор. — М.: НИИМаш, 1984. — 56 с.
8. Боровский Г. В. Металлорежущий инструмент из синтетических сверхтвердых материалов (СТМ) // Технология, оборуд., орг. и экономика машиностроит. пр-ва. — М.: ВНИИТЭМР, 1986. — Вып. 8. — 48 с.
9. Высокопроизводительная обработка корпусных деталей торцовыми фрезами с регулируемым режущим вставками, оснащенными СТМ: Метод. рекомендации МР-040-69-84. — М.: ВНИИТЭМР, 1985. — 45 с.
10. Высокопроизводительные инструменты из гексанида-Р / Г. Г. Карюк, А. В. Бочко, О. Н. Мойсеев, В. К. Сидоренко. — К.: Наук. думка, 1986. — 136 с.
11. Гургал А. И., Манжар В. А. Инструмент из сверхтвердых материалов и его применение: Справ. — Львов: Каменяр, 1984. — 234 с.
12. Захаренко И. П. Основы алмазной обработки твердосплавного инструмента. — К.: Наук. думка, 1981. — 299 с.
13. Захаренко И. П., Савченко Ю. Я. Алмазно-электролитическая обработка инструмента. — К.: Наук. думка, 1978. — 224 с.
14. Захаренко И. П., Цахиовский И. М., Беленский Э. А. Шлифование резбы инструмента кругами из кубонита. — М.: Машиностроение, 1974. — 144 с.
15. Злочевский Г. Д., Парсегов С. В., Зубарев Ю. М. Заточка резцов оснащенных алмазом-Р, в условиях серийного производства // Станки и инструмент. — 1986. — № 2. — С. 20—22.
16. Инструмент из металлизированных сверхтвердых материалов / Е. М. Чистяков, А. А. Шенделев, Т. Н. Дуда, В. П. Черных. — К.: Наук. думка, 1982. — 201 с.
17. Использование гексанидовых резцов при обработке наплавленных поверхностей / В. П. Меламед, Г. М. Ангелю, Г. Г. Карюк и др. // Алмазы и сверхтвердые материалы. — 1976. — Вып. 6. — С. 6.
18. Кобаяши А. Обработка пластмасс резанием: Пер. с англ. — М.: Машиностроение, 1974. — 192 с.
19. Конструкции и эксплуатация торцовых фрез из сверхтвердых материалов из основы нитридов бора: Метод. рекомендации. — М.: НИИМаш, 1984. — 68 с.
20. Лезвийные инструменты из сверхтвердых материалов: Метод. рекомендации. — М.: НИИМаш, 1980. — 60 с.
21. Лурье Г. Б. Новые инструментальные материалы и конструкции резцов. — М.: Высш. шк., 1977. — 55 с.

22. Методические указания по определению экономической эффективности использования сверхтвердых материалов.— К.: Наук. думка, 1982.— 76 с.
23. Мойсеев О. И. Червячные фрезы, оснащенные гексанитом-Р // Алмазы и сверхтвердые материалы.— 1982.— Вып. 2.— С. 3—6.
24. Номенклатура режущего инструмента из минералокерамики и сверхтвердых материалов на основе нитрида бора, выпускаемого заводами Минстанкопрома.— М.: НИИМАН, 1984.— 44 с.
25. Нурмухамедов В. Х. Применение резцов из двухслойных пластин с синтетическим алмазом СВБН на финишной операции обработки поршней автомобильных двигателей // Алмазы и сверхтвердые материалы.— 1979.— Вып. 6.— С. 7—9.
26. О структуре поликристаллов нитрида бора после спекания под давлением / Л. С. Палатник, Л. И. Гладких, М. Я. Фуке и др. // Синтет. алмазы 1976.— Вып. 1.— С. 66—69.
27. Обрабатываемость твердых наплавов резцами из гексанита-Р / В. В. Коломиец, В. М. Мозок, В. М. Квасов и др. // Резание и инструмент: Респ. межвед. науч.-техн. сб.— 1978.— Вып. 20.— С. 53—57.
28. Орлов Н. Н., Солдатов Г. Р. Доводка труднообрабатываемых материалов свободным абразивом с наложением ультразвуковых колебаний.— М.: Машиностроение, 1983.— 80 с.
29. Осипенко Т. Д., Попова А. П. Теплопроводность моно- и поликристаллов синтетических алмазов // Поверхностные и теплофизические свойства алмазов: Сб. науч. тр.— К.: ИСМ АН УССР, 1985.— С. 9—14.
30. Островский В. И., Маркова Л. Г., Федотов А. И. Тонкое точение закаленной стали эльбором.— Л.: ДИИТП, 1971.— 26 с.
31. Пайка и металлизация сверхтвердых инструментальных материалов / Ю. В. Найдич, Г. А. Колесниченко, И. А. Лавриненко и др.— К.: Наук. думка, 1977.— 187 с.
32. Парсегов С. В., Злочевский Г. Д. Обработка резцов с композитом С1 на плоскошлифовальных станках // Алмазы и сверхтвердые материалы.— 1981.— Вып. 2.— С. 6—8.
33. Пахалин Ю. А. Алмазно-контактное эрозивное шлифование.— Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1985.— 178 с.
34. Приспособления для алмазкой заточки режущего инструмента / И. П. Захаренко, А. А. Шепелев, Я. А. Кункин, В. С. Мендельсон.— К.: Техника, 1977.— 108 с.
35. Прогрессивный инструмент для металлообработки. Режущий инструмент из сверхтвердых материалов: Каталог.— М.: ВНИИТЭМР, 1986.— 47 с.
36. Руднев А. В., Королев А. А. Обработка резанием стеклопластиков.— М.: Машиностроение, 1969.— 119 с.
37. Рыжов Э. В., Суслов А. Г., Федоров В. П. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин.— М.: Машиностроение, 1979.— 176 с.
38. Сверхтвердые материалы / Под ред. И. Н. Францевича.— К.: Наук. думка, 1980.— 296 с.
39. Связкина Т. М., Грохольский Б. П. Лезвийный режущий инструмент из сверхтвердых материалов.— Л.: ДИИТП, 1979.— 20 с.
40. Синтетические сверхтвердые материалы: В 3 т. / Редкол.: Н. В. Новиков (отв. ред.) и др.— К.: Наук. думка, 1986.— Т. 1.— 280 с.
41. Сравнение обрабатываемости наплавленных поверхностей различными инструментальными материалами / В. В. Коломиец, А. И. Сидашенко, А. Л. Корсун, О. Н. Шпирко // Алмазы и сверхтвердые материалы.— 1978.— № 11.— С. 12—13.
42. Степанов А. А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов.— Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1987.— 176 с.
43. Федосеев Л. А., Лучин Б. П., Соболев Г. В. Современный дерево-режущий инструмент, оснащенный сверхтвердыми материалами (Обзор, анализ, Сер. Мебель).— М.: ВНИИПИИЛеспром, 1983.— 40 с.
44. Фельдштейн Е. Э., Николаев В. А. Финишная механическая обработка деталей из порошковых материалов.— М.: Высш. шк., 1987.— 132 с.
45. Филиппов Г. В. Режущий инструмент.— Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1981.— 391 с.
46. Черный А. П., Куцева М. Е. Чистовое точение закаленных быстрорежущих и легированных сталей резцами из эльбора-Р // Алмазы и сверхтвердые материалы.— 1974.— Вып. 3.— С. 24—27.
47. Чирков В. Г. Расчеты экономического эффекта новой техники.— К.: Техника, 1984.— 182 с.
48. Штучный Б. П. Механическая обработка пластмасс: Справ.— М.: Машиностроение, 1987.— 152 с.
49. Эльбор в машиностроении.— Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1978.— 280 с.
50. Эффективное применение режущего инструмента, оснащенного синтетическими сверхтвердыми материалами и керамикой, в машиностроении: Метод. рекомендации.— М.: ВНИИТЭМР, 1986.— 207 с.
51. Каталог фирмы «Sumitomo Electric» (Япония), 1984.— 1984 г.
52. Каталог фирмы «Plansee Tizit» (Австрия), 1983.— 1985 г.
53. Каталог фирмы «FUE» (Япония), 1984.— 1984 г.
54. Каталог фирмы «Walter» (ФРГ), 1984.— 1984 г.
55. Каталог фирмы «Hartmetall-Werkzeug» (НАМ) (ФРГ), 1984.— 1985 г.
56. Giel P. D. Thermal properties of sintered polycrystalline diamond. High Pressure Res. and Ind. // AIRAPT Conf.— 1982.— P. 420—423.
57. Lammer A. Polykristallines Diamant Syndite PKD als Vereschleisswerkstoff // — Ind. Dinschau.— 1985.— 19, N2.— S. 94—99.
58. Superhard tooling has the edge // Metalworking Production.— 1984.— 195, N4.— P. 88—92.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Глава 1. Поликристаллические сверхтвердые материалы	4
Поликристаллические сверхтвердые материалы на основе алмаза	4
Поликристаллические сверхтвердые материалы на основе нитрида бора	8
Композиционные сверхтвердые материалы	10
Двухфазные композиционные поликристаллические сверхтвердые материалы	11
Глава 2. Конструкция инструмента из поликристаллических сверхтвердых материалов	12
Крепление поликристаллов в режущем инструменте	12
Режущие пластины и вставки	14
Резцы, оснащенные ПСТМ	26
Фрезы, оснащенные ПСТМ	34
Сверла, зенкеры, развертки	40
Режущий инструмент из ПСТМ для условий гибкого автоматизированного производства	43
Глава 3. Изготовление инструмента	44
Шлифование ПСТМ	44
Шлифование алмазными кругами	45
Обработка ПСТМ свободным абразивом	56
Доводка ПСТМ	57
Станки и приспособления для шлифования, заточки, доводки	57
Типовые технологические процессы обработки инструмента из поликристаллических сверхтвердых материалов	66
Глава 4. Применение инструмента из ПСТМ при обработке металлов	67
Обработка цветных металлов и сплавов, титановых сплавов	67
Обработка сталей и чугунов	71
Обработка деталей с упрочняющими покрытиями	85
Глава 5. Применение инструмента из ПСТМ при обработке пластмасс	93
Особенности механической обработки ПКМ	93
Режимы резания и геометрия инструмента для обработки ПКМ	101
Глава 6. Типовые технологические процессы и эффективность обработки инструментом из ПСТМ	108
Примеры технологических процессов обработки деталей инструментом из ПСТМ	108
Экономическая оценка эффективности обработки инструментом из ПСТМ	112
Список литературы	115

Справочное издание

НИКОЛАЙ ПЕТРОВИЧ ВИННИКОВ
 АНАТОЛИЙ ИВАНОВИЧ ГРАБЧЕНКО
 ЭДУАРД ИВАНОВИЧ ГРИЦЕНКО
 ЛЕОНИД НИКОЛАЕВИЧ ДЕВИН
 ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ ДРОЖЖИН
 ВИТАЛИЙ ФЕДОРОВИЧ ДРОЖЖИН
 ВЛАДИМИР ПЕТРОВИЧ ЗУБАРЬ
 СЕРГЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ КЛИМЕНКО
 ЯКОВ АРКАДЬЕВИЧ ЛЕШИНЕР
 АЛЕКСАНДР СТЕПАНОВИЧ МАКОВИЦКИЙ
 ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ МУКОВИЧ
 ВАСИЛИЙ ПЕТРОВИЧ ЧАПАЛЮК
 ВЛАДИМИР МИРОНОВИЧ ЭНШТЕИН

ЛЕЗВИЙНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Редактор А. Л. Берзина
 Оформление художника Л. А. Дикарева
 Художественный редактор Н. В. Рублева
 Технический редактор Н. А. Бондарчук
 Корректор В. Н. Руденко

ИБ № 4069.

Сдано в набор 16.03.88. Подписано в печать 20.09.88. БФ 06553. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 7,5. Усл. экз. 7,88. Уч.-изд. л. 9,7. Тираж 3000 экз. Зак. 8-654. Цена 60 к.

Издательство «Известия» 252601 Киев, 1, ул. Крещатик, 5.

Отпечатано с матриц Харьковской книжной фабрики им. М. В. Фрунзе в Харьковской городской типографии № 16, г. Харьков-3, ул. Университетская, 16. Зак. 1581.

**Адреса магазинов,
которые высылают научно-техническую литературу
платежом**

- 286009, г. Винница-9, ул. Лебединского, 15, магазин «Книга — почтой»
- 348000, г. Ворошиловград, ул. К. Маркса, 14, магазин «Книга — почтой»
- 320030, г. Днепропетровск-30, ул. Новоорловская, 10, магазин № 42 «Книга — почтой»
- 340017, г. Донецк-17, бульвар Шевченко, 48, магазин № «Книга — почтой»
- 340055, г. Донецк-55, ул. Артема, 125, магазин № 50, отдел «Книга — почтой»
- 262001, г. Житомир-1, ул. Черняховского, 12-А, книжная база, отдел «Книга — почтой»
- 330056, г. Запорожье-56, пр. Ленина, 129, магазин № 27 «Книга — почтой»
- 284000, г. Ивано-Франковск, ул. Чапаева, 15, магазин № 1 «Техническая книга»
- 252117, г. Киев-117, ул. Попудренко, 26, магазин № 75 «Книга — почтой»
- 316001, г. Кировоград-1, ул. Ленина, 30/36, магазин № 9 «Техническая книга», отдел «Книга — почтой»
- 290008, г. Львов-8, пл. Рынок, 10, магазин № 19 «Дом научно-технической книги», отдел «Книга — почтой»
- 273010, г. Луцк-10, ул. Ленина, 41, магазин № 13, отдел «Книга — почтой»
- 270001, г. Одесса-1, ул. Ленина, 17, магазин № 13 «Техническая книга»
- 314011, г. Полтава-11, ул. Гоголя, 19, магазин № 16 «Заря»
- 266000, г. Ровно, ул. Ленинская, 57, магазин № 8
- 244003, г. Сумы-3, Рабочий поселок, 2, книжная база, отдел «Книга — почтой»
- 310075, г. Харьков-75, ул. Соколова, 24, магазин № 15 «Книга — почтой»
- 280013, г. Хмельницкий-13, ул. К. Маркса, 25, магазин № 9
- 257000, г. Черкассы, ул. Урицкого, 188, магазин № 11, отдел «Книга — почтой»
- 250000, г. Чернигов, ул. Ленина, 45, магазин № 1 «Дом книги»
- 294018, г. Ужгород-18, ул. 40-летия Октября, магазин № 11 «Книжный мир», отдел «Книга — почтой»

Издательство «Техника»