

В. П. Жедь, Г. В. Боровский, Я. А. Музыкант, Г. М. Ипполитов

Рецензент канд. техн. наук **О. Б. Арбузов**

Р33 Режущие инструменты, оснащенные сверхтвердыми и керамическими материалами, и их применение: Справочник/ В. П. Жедь, Г. В. Боровский, Я. А. Музыкант, Г. М. Ипполитов. — М.: Машиностроение, 1987. — 320 с., ил.

(В пер.): 1 р. 40 к.

Рассмотрены физико-технические свойства разновидностей кубического нитрида бора (эльбор-Р, белбор-Р, гексанит-Р и др.), синтетических алмазов и керамики. Изложены основные сведения по технологии их производства и областям применения. Приведены примеры технологий обработки заготовок типовых деталей инструментами, оснащенными этими материалами, и данные о достигаемой точности, шероховатости и эффективности обработки.

Для инженерно-технических работников машиностроительных предприятий.

Р 2703000000-225 225-87
038(01)-87

ББК 34.63-56

СПРАВОЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**Виктор Петрович Жедь, Георгий Владиславович Боровский,
Яков Абрамович Музыкант, Георгий Михайлович Ипполитов**

**РЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ, ОСНАЩЕННЫЕ СВЕРХТВЕРДЫМИ И
КЕРАМИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ, И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ**

Редактор *И. С. Форстен*
Художественный редактор *А. С. Вершинкин*
Технический редактор *Ф. П. Мельниченко*
Корректоры *Т. В. Багдасарян, Л. Е. Сонюшкина*

ИБ № 4765

Сдано в набор 05.09.86. Подписано в печать 28.01.87. Т-04548.
Формат 60×90 1/16. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная.
Печать высокая. Усл. печ. л. 20,0. Усл. кр.-отт. 20,0. Уч.-изд. л. 20,05.
Тираж 28500 экз. Заказ 226. Цена 1 р. 40 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Машиностроение», 107076, Москва, Стромынский пер., 4

Ленинградская типография № 6 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 193144, г. Ленинград, ул. Моисеенко, 10.

© Издательство «Машиностроение», 1987

Предисловие	3
1. Поликристаллические синтетические сверхтвердые материалы (СТМ) и керамика	7
1.1. Основы производства, марки и свойства СТМ	7
1.2. Основы производства, марки и свойства керамики	15
1.3. Области применения режущих инструментов из СТМ и керамики	27
2. Конструкции и номенклатура режущих инструментов, оснащенных СТМ и керамикой	30
2.1. Режущие инструменты, оснащенные СТМ	30
2.2. Режущие инструменты с пластнами из керамики	53
3. Основные закономерности резания материалов инструментами, оснащенными СТМ и керамикой	69
3.1. Точение и фрезерование инструментами, оснащенными СТМ	69
3.2. Точение и фрезерование инструментами, оснащенными керамикой	75
4. Режимы резания инструментами, оснащенными СТМ и керамикой	91
4.1. Режимы резания инструментами, оснащенными СТМ	91
4.2. Режимы резания инструментами, оснащенными керамикой	113
5. Технологические особенности и опыт применения инструментов, оснащенных СТМ и керамикой	130
5.1. Технологические особенности применения инструментов, оснащенных СТМ и керамикой	130
5.2. Опыт применения инструментов, оснащенных СТМ и керамикой	131
5.3. Шлифование и заточка инструментов, оснащенных СТМ и керамикой	144
6. Станки для эффективной эксплуатации режущих инструментов, оснащенных СТМ и керамикой	166
7. Методика расчета экономического эффекта от внедрения инструментов, оснащенных СТМ и керамикой	212
Приложения	
1. Номенклатура режущих инструментов, оснащенных СТМ на основе нитрида бора	222
2. Номенклатура режущих инструментов, оснащенных керамикой	235

3. Обозначение режущих пластин согласно ГОСТ 19042—80	250
4. Обозначение токарных резцов для наружного точения согласно ГОСТ 26476—85	252
5. Обозначение расточных державок согласно системе ISO	253
6. Обозначение резцов-вставок согласно ГОСТ 26476—85	254
7. Приближенные соотношения чисел твердости	255
8. Частота вращения заготовки или торцовой фрезы в зависимости от ее диаметра и скорости резания	258
9. Информационные карты механической обработки	261
Список литературы	314
Предметный указатель	314

Значительное повышение производительности обработки заготовок достигается благодаря использованию режущих инструментов, оснащенных поликристаллами сверхтвердых материалов (СТМ) на основе кубического (КНБ) и вюрцитоподобного (ВНБ) нитрида бора, синтетических алмазов (СА), а также керамическими материалами (керамикой).

В настоящее время инструментальная промышленность выпускает две группы инструментальных СТМ на основе: 1) нитрида бора — композиты, 2) углерода — поликристаллические алмазы АСПК (карбонадо), АСБ (баллас), СКМ, СВБН и др. Эти две группы СТМ практически имеют не связанные друг с другом области применения, определяемые их физико-механическими свойствами и химическим составом. Твердость поликристаллических алмазов выше, чем твердость композитов, а теплостойкость в 1,5—2 раза ниже. Композиты практически инертны к черным металлам, а алмазы проявляют по отношению к ним значительную активность при высоких контактных температурах и давлениях, имеющих место в зоне резания. Поэтому режущие инструменты из композитов применяют главным образом для обработки чугунов и сталей, а из синтетических алмазов — для обработки цветных металлов и сплавов, неметаллических материалов. Область применения поликристаллических синтетических алмазов значительно шире, чем область применения дефицитных природных алмазов. Композит не имеет природных аналогов. Керамика на основе оксида алюминия наиболее эффективна при точении с повышенной скоростью нетермообработанных конструкционных сталей и серых чугунов, оксиднокарбидная керамика — при обработке закаленных сталей, отбеленных высокопрочных чугунов, а керамику на основе нитрида кремния все шире применяют для обработки жаропрочных сплавов на никелевой основе и чугунов.

Инструменты из СТМ и керамики получили широкое распространение в отечественной промышленности, прежде всего в станкостроении, автомобильном и сельскохозяйственном машиностроении, машиностроении для легкой и пищевой промышленности, в целях предварительной и окончательной обработки заготовок из чугунов, нетермообработанных и закаленных сталей, твердых и

труднообрабатываемых сплавов взамен традиционных твердосплавных инструментов, а также шлифовальных кругов.

Внедрение инструментов из СТМ и керамики позволяет реализовать принцип концентрации операций; усовершенствовать или полностью перестроить технологию обработки; уменьшить в 2—10 раз основное время обработки заготовки; упростить технологический цикл, исключив или сократив по времени некоторые операции; улучшить качество обработанной поверхности (отсутствие микротрещин, прижогов и т. п.); высвободить рабочих, оборудование и производственные площади.

Рациональное применение инструментов из СТМ и керамики обеспечивает одновременное повышение производительности и качества обработки деталей, гарантирует рост эффективности производства.

Внедрение новых или усовершенствование действующих процессов изготовления деталей машин с применением инструмента из СТМ и керамики — один из эффективных путей интенсификации металлообработки.

Высокая эффективность обработки заготовок достигается благодаря использованию инструментов из СТМ и керамики в первую очередь на автоматических линиях, станках с ЧПУ, многоцелевых станках, в гибких производственных модулях и системах. Это объясняется тем, что поступающие на указанное выше оборудование заготовки более идентичны по физико-механическим свойствам, припускам, состоянию поверхности, чем заготовки, поступающие на универсальные станки. Обработка на станках с ЧПУ позволяет обеспечивать оптимальный режим резания, плавно вводить и выводить инструмент из контакта с обрабатываемой заготовкой. На автоматизированном оборудовании чаще всего применяют систему принудительной смены инструмента, его централизованное восстановление, высокоэффективный контроль за эксплуатацией.

Расширение применения инструментов из СТМ и керамики обусловлено внедрением в машиностроение все больших объемов труднообрабатываемых материалов, процессов точного литья с малыми припусками под механическую обработку, а также созданием нового высокопроизводительного автоматизированного оборудования в комплексе с эффективным режущим инструментом из СТМ и керамики.

Авторы полагают, что использование приведенных в справочнике данных будет способствовать расширению областей применения, увеличению удельного веса и рациональному использованию прогрессивных инструментов в металлообработке, а также повышению производительности и качества обработки заготовок деталей машин.

1. ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СИНТЕТИЧЕСКИЕ СВЕРХТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ (СТМ) И КЕРАМИКА

1.1. Основы производства, марки и свойства СТМ

Применяемые для лезвийного инструмента СТМ являются плотными модификациями углерода и нитрида бора. Впервые синтетический алмаз и кубический нитрид бора были получены методом каталитического синтеза. В СССР сверхтвердые фазы углерода и нитрида бора были получены в 1959 г. под руководством академика Л. Ф. Верещагина также методом каталитического синтеза при высоких статических давлениях. В результате прямого фазового перехода в однокомпонентной системе алмаз был впервые синтезирован в 1961 г. путем ударного сжатия графита, а путем статического сжатия — в 1963 г. Одновременно с этим был осуществлен и бескатализаторный синтез плотных модификаций нитрида бора при статическом сжатии. В условиях ударного сжатия образование вюрцитной модификации при прямом фазовом переходе было впервые зафиксировано в СССР Л. В. Альтшулером и А. Н. Дреминым.

Размеры получаемых такими способами СТМ, как правило, не превышали долей миллиметра; СТМ являлись монокристаллами или представляли собой поликристаллические агрегаты, состоящие из отдельных монокристаллических зерен. Небольшие размеры синтезируемых зерен СТМ предопределили первоначальное их использование только в абразивных инструментах.

Применение их для изготовления лезвийного инструмента стало возможным после получения алмаза и нитрида бора в виде крупных поликристаллических образований. Графит и графитоподобный нитрид бора, имеющие слоистую структуру, являются очень мягкими материалами. Их смазывающие свойства объясняются легкостью скольжения плоскостей относительно друг друга. Графитоподобный нитрид бора получил название «белого графита». Алмаз и плотные модификации нитрида бора, имеющие тетраэдрическое распределение атомов в решетке, являются самими твердыми структурами.

Области существования различных полиморфных модификаций определяются фазовой диаграммой, которая содержит кривые равновесия всех стабильных фаз. На рис. 1.1 представлена фазовая диаграмма углерода и нитрида бора. Она определяет области термодинамической стабильности и относительную устойчивость

виях, обеспечивающих химическое взаимодействие BN со связкой с образованием сложных фаз (керамических, интерметаллоидных соединений и др.). В настоящее время создано большое число материалов посредством спекания зерна $BN_{сф}$ со связкой. За рубежом СТМ на основе кубического нитрида бора получают только по этой технологии.

В СССР в настоящее время выпускают композит 05 модификации «ИТ» (в дальнейшем — композит 05), киборит и ниборит.

Наиболее известными зарубежными материалами являются боразон, амборит и сумиборон (BN).

Уникальные физические и химические свойства (высокая химическая устойчивость, твердость, износостойкость) этих материалов объясняются чисто ковалентным характером связи атомов в нитриде бора в сочетании с высокой локализацией валентных электронов у атомов.

Термостойкость инструментального материала является его важной характеристикой. Приводимый в литературе широкий интервал значений термической устойчивости BN (600—1450 °C) объясняется как сложностью физико-химических процессов, происходящих при нагреве BN, так и неопределенностью в какой-то степени термина «термостойкость» применительно к СТМ.

При рассмотрении термостойкости поликристаллических СТМ на основе алмаза и плотных модификаций нитрида бора (они часто являются композиционными и количество связующего в них может достигать 40 %) следует учитывать, что их термостойкость может определяться как термической устойчивостью BN и алмаза, так и изменением при нагреве свойств связующего и примесей. В свою очередь, термическая устойчивость алмаза и BN на воздухе определяется как термической стабильностью фаз высокого давления, так и их химической стойкостью в данных условиях, в основном относительно окислительных процессов. Следовательно, термическая устойчивость связана с одновременным протеканием двух процессов: окислением алмаза и плотных модификаций нитрида бора кислородом воздуха и обратным фазовым переходом (графитизацией), поскольку они находятся в термодинамически неравновесном состоянии. Например, заметное количество продуктов коррозии при окислении поверхности композита 10 (гексанита-Р) кислородом воздуха при атмосферном давлении появляется при температуре, превышающей 900 °C, через 20—30 мин. Влияние каждого из перечисленных процессов на термостойкость СТМ для каждого конкретного материала следует рассматривать индивидуально, исходя из его состава и структуры.

Твердость — условная характеристика; она зависит от формы наконечника, нагрузки, характера подготовки поверхности к измерениям.

У СТМ (алмаза и BN) отчетливо наблюдается различие в значениях твердости, измеренных наконечниками Виккерса и Кнуппа *. В области нагрузок $P < 10$ Н твердость зависит от нагрузки (не выполняется закон механического подобия Кирпичева—Кика), наблюдается существенная зависимость от нагрузки как восстановленного, так и невосстановленного отпечатков. В области нагрузок $P > 20$ Н при измерении индентором Кнуппа удается получить значения твердости, в малой степени зависящие от нагрузки. Значения твердости СТМ на основе BN представлены в табл. 1.1

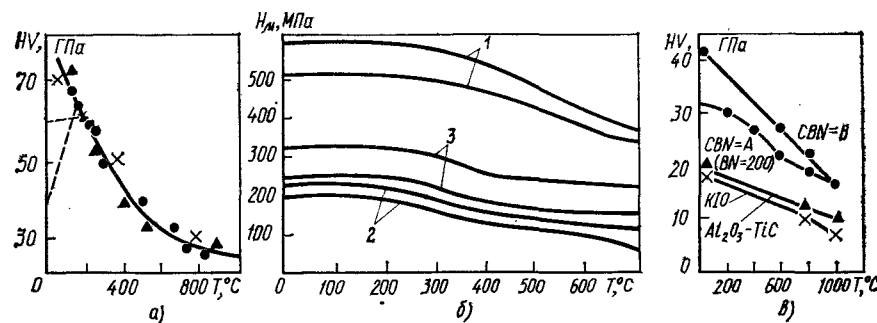


Рис. 1.2. Зависимость твердости HV поликристаллов на основе BN от температуры:

а — для гексанита-Р, измеренные при нагрузке 500 г; б — для композитов 01 (1), 05 (2) и 10 (3), измеренные при нагрузке 470 г после нагрева пластин; в — для сумиборона BN 200; боразона, твердого сплава K10 и керамики

Измерение твердости СТМ достаточно сложно из-за соизмеримости в условиях высоких температур твердостей алмазного индентора и измеряемых материалов, вследствие чего происходит интенсивное изнашивание инденторов. Температурная зависимость твердости СТМ на основе BN представлена на рис. 1.2. Как видно, в интервале температур 20—1000 °C наблюдается постепенное падение твердости СТМ в 1,5—2 раза. Наблюдаемое некоторыми исследователями снижение твердости при $T > 1300$ °C, вероятно, связано с интенсификацией обратного фазового превращения плотных модификаций нитрида бора.

Предел прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ определяют путем сжатия шлифованных по торцам образцов, как правило, цилиндрической формы, между плоскопараллельными твердосплавными пластинами на прессе или испытательной машине. При сжатии фиксируют силу, при которой произошло разрушение, а прочность определяют как отношение разрушающей (критической) силы к площади минимального сечения: $\sigma_{сж} = P_{кр}/F_0$.

* Обычно НК $\approx 0,8HV$.

1.1. Физико-механические свойства сверхтвердых материалов на основе нитрида бора (20 °С)

Материал	ρ_s , г/см ³	Твердость HV	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{д.с}$	$\sigma_{н}$	E	Коэфф-циент Пуассона ν	K_{Ic} , МПа·м ^{3/2}	Коэфф-циент теплопроводности λ , Вт/(м·К)	Коэфф-циент линейного расширения α , 10 ⁻⁶ /°С	Удельная теплоемкость C_p , Дж/(г·°С)	Темпостойкость, °С
Композит 01 (эль-бор-РМ)	3,4	37	2,7	0,44	—	840	—	4,2	60—80 (77 °С); 160—180 (627 °С)	—	—	—
Композит 02 (бел-бор)	—	—	4—6,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Композит 05	4,3	18,8	2,2	0,22	0,47	620	0,16	6,7	—	—	—	—
Композит 09 (ПТНБ)	—	—	3,4—4,9	—	1,00	—	—	—	—	—	—	—
Композит 10 (гексанит-Р)	3,4; 3,28— 3,36	30	2,6; 2—4; 3,0	— 0,32 —	1,0—1,2; 1,2—1,5	712; 1000	0,14	3,8; 15—17	21—80 (77 °С); 40—60 (627 °С)	—	—	—
Боразон	3,48	45	—	—	—	—	—	—	—	5,6	—	—
Амборит	—	40,5	—	0,45	0,57	680	0,22	—	105—135	—	—	1300, 1100
Сумиборон BN200	4,2	30—35	—	—	—	—	—	—	37,8	5,6; 4,7	628	—
Бюрдин	—	30—40	—	—	0,8	—	—	13	21 (40 °С); 30 (400 °С)	7,9	797 (40 °С); 1515 (400 °С)	—

Примечание. Различные значения одного и того же параметра даны из разных источников.

Для большинства СТМ на основе BN $\sigma_{сж} = 2,2 \dots 2,7$ ГПа (см. табл. 1.1). Исключение составляют $\sigma_{сж}$, композит 09 (3—5 ГПа) и композит 02 (4—6,5 ГПа).

При испытании на растяжение сверхтвердых материалов, так же как и других хрупких материалов (керамика, бетон и др.), для определения предела прочности на растяжение $\sigma_{р}^d$ используют метод диаметального сжатия. Такая схема нагружения позволяет проводить испытания образцов технологичной формы — дисков и цилиндров.

Разрушающее напряжение при диаметральном сжатии рассчитывают по формуле $\sigma_{р}^d = \sigma_1 = 2P_{кр}/(Dh)$, где D и h — соответственно диаметр и толщина диска.

Данные по значениям предела прочности на изгиб $\sigma_{н}$ для СТМ на основе BN немногочисленны и довольно противоречивы.

Упругие постоянные: модуль Юнга E и коэффициент Пуассона определяются в основном по методике, основанной на измерении резонансных частот вынужденных колебаний дискового образца и плотности исследуемого материала.

Коэффициент трещиностойкости K_{Ic} или критический коэффициент интенсивности напряжений в вершине трещины является характеристикой сопротивления разрушению материалов. Высокая твердость, прочность и модуль упругости, сложность механической обработки и небольшие размеры образцов из СТМ ограничивают применение большинства используемых в настоящее время методов определения коэффициента трещиностойкости. Для определения коэффициента трещиностойкости K_{Ic} СТМ используют метод диаметального сжатия диска с трещиной и метод определения вязкости разрушения керамики по внедрению индентора. Значения коэффициента трещиностойкости K_{Ic} для СТМ на основе BN, измеренные методом диаметального сжатия, составляют 3,8—6,7 МПа·м^{1/2} (табл. 1.1).

Для гексанита-Р по методике Эванса при нагрузке 50 Н получены значения $K_{Ic} = 16 \dots 18$ МПа·м^{1/2}, близкие к значениям K_{Ic} для твердых сплавов.

Различие значений K_{Ic} , измеренных по различным методикам для гексанита-Р, в 4—5 раз свидетельствует о недостаточной изученности сложных физических процессов деформирования и разрушения СТМ.

По технологии получения СТМ на основе алмаза можно разделить на две группы: поликристаллы алмаза, получаемые в результате фазового перехода графита в алмаз; поликристаллы алмаза, получаемые спеканием алмазных зерен.

К поликристаллам, получаемым посредством фазового перехода графита в алмаз в присутствии катализаторов при давлении и температуре, соответствующих области термодинамической ста-

1.2. Физико-механические свойства сверхтвердых материалов на основе алмаза (20 °С)

Материал	ρ , г/см ³	НК (HV)	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{д.с}$	$\sigma_{в}$	E	Коэффициент Пуассона ν	Темперостойкость, °С
АСБ	3,5—3,9	(50—114)	0,21—0,40	—	0,5—1,0	—	—	600—720
АСПК	3,5—4,0	(92—150)	—	—	0,5—1,0	—	—	800
СВБН	3,34—3,46	70—100	8—10	—	—	—	—	950
Карбонит	3,2—3,4	39—44	4,42—5,88	—	—	—	—	—
Компакс	—	80	—	—	—	—	—	700
Синдит	—	50	—	1,29	1,1	841	0,22	700
Мегадаймонд	3,1—3,48	—	—	—	—	—	—	800

1.3. Коэффициент трения СТМ на основе алмаза

Сопряженный материал	Коэффициент трения		
	природного алмаза	АСПК	АСБ
Медь М1	0,05—0,07	0,10—0,14	0,15—0,22
Латунь Л62	0,05—0,07	0,10—0,13	0,15—0,24
Латунь ЛС59-1	0,05—0,06	0,10—0,12	0,15—0,20
Магнийевый сплав МА8	0,06—0,08	0,12—0,14	0,17—0,26
Сталь 20	0,08—0,10	0,14—0,18	0,20—0,30
Дюралюминий Д16Т	0,06—0,07	0,10—0,12	0,18—0,25

бильности алмаза, относятся карбонадо (АСПК) и баллас (АСБ), названные так благодаря идентичности их структуры структуре природных карбонадо и балласа.

Из материалов, получаемых спеканием алмазных зерен, в СССР в настоящее время производят СВБН, карбонит и СКМ.

Поликристаллы СВБН получают спеканием алмазного порошка на твердосплавной подложке. Получаемые двухслойные заготовки диаметром 3,6—4,0 мм и высотой до 2—3 мм припаивают в вершине твердосплавной пластины стандартных размеров.

Карбонит и СКМ получают спеканием порошков синтетического алмаза со специальным покрытием при давлении и температуре, соответствующих области термодинамической стабильности алмаза.

За рубежом на основе технологии спекания алмазных зерен выпускают поликристаллические материалы компакс, сумидиа, синдит и др.

Свойства СТМ на основе алмаза приведены в табл. 1.2 и 1.3.

1.2. Основы производства, марки и свойства керамики

В СССР и за рубежом интенсивно ведут работы по расширению применения металлообрабатывающего инструмента, оснащенного режущими сменными многогранными пластинами (СМП) из керамики различных марок.

Основными преимуществами применения керамики являются повышение производительности и качества обработки, стабильность цен и практически неограниченные сырьевые ресурсы исходного материала, имеющегося в каждой стране. Керамику, выпускаемую в СССР и за рубежом, в настоящее время можно разделить на несколько групп, которые различаются химическим составом, методом производства и областями применения.

Первая группа — это наиболее широко известная оксидная (чистая, или «белая») керамика, состоящая в основном из оксида алюминия Al_2O_3 и легирующих добавок (MgO , ZrO_2 и др.).

Пластины из оксидной керамики получают холодным прессованием с последующим спеканием. Процесс экономичен, стоимость таких пластин минимальна. В состав оксидной керамики не входят дефицитные материалы. Основной недостаток этих пластин — относительно небольшая прочность; но твердость и красностойкость их высоки.

Представителями этой керамики (табл. 1.4) являются ЦМ-332 и ВО-13 (СССР) и зарубежные: СХЗ («Ниппон Техникал Керамик», Япония), ДИСАЛ 100 («Диас Тырнов», ЧССР), АС5 («Карл Хертель», ФРГ), SN56, SN60 («Фельдмюлле», ФРГ); W80, («Сумитомо электрик», Япония), НРС-Н1 («Тошиба Тунгалоу», Япония); V-34, V-44 («Валенайт», США).

Вторая группа керамики — оксидно-карбидная (смешанная, «металлическая», «черная») керамика, состоящая из оксида Al_2O_3 (до 60 %), TiC (до 20—40 %), ZrO_2 (до 20—40 %) и других карбидов тугоплавких металлов с некоторыми легирующими добавками. Пластины из оксидно-карбидной керамики получают горячим прессованием в графитовых пресс-формах. Процесс более трудоемок, чем процесс получения оксидной керамики. Пластины применяют для обработки ковких, отбеленных чугунов, термоулучшенных, цементуемых и закаленных на твердость HRC 30—65 сталей (см. табл. 1.4).

Наиболее известными марками керамики этой группы являются отечественная ВОК-60 и зарубежные SH-1, SH-1, SH-20 («Фельдмюлле»), НС-2 («Ниппон Техникал Керамик»), НРС-А2 («Тошиба Тунгалоу»), СС650 («Сандвик Коромант», Швеция) и др.

К третьей группе относится керамика на основе нитрида кремния (Si_3N_4) с легированием оксидами иттрия, циркония, алюминия

1.4. Основные марки и физико-механические свойства пластин из керамики отечественного и зарубежного производства

Фирма-изготовитель, страна	Марка, способ изготовления	Химическая основа, цвет пластин	Твердость	Плотность, г/см ³	σ _н		Размер зерна, мкм
					МПа		
СССР	ЦМ-332, холодное прессование	Al ₂ O ₃ ≥ 99 %, MgO ≤ 1 %, белый	HRA 91	3,85—3,90	300—350	—	4
	ВО-13, холодное прессование	Al ₂ O ₃ > 99 %, белый	HRA 92	3,92—3,95	450—500	2700—3000	3—4
	ВШ-75, горячее прессование	Al ₂ O ₃ , черно-серый	HRA 91—92	3,98	500	2500—3000	3
	SN56, холодное прессование	Al ₂ O ₃ = 99,7 %, белый	HV 24 000	3,91	550	—	2,8
	SN60, холодное прессование	Al ₂ O ₃ ≥ 90 %, ZrO ₂ ≤ 10 %, белый	HV 20 000	3,97	440	—	3
«Фельдмюлле» (ФРГ)	SN80, холодное прессование	Al ₂ O ₃ > 80 %, ZrO ₂ < 20 %, белый	HV 20 000	4,16	500	—	—
	Widalox G	Al ₂ O ₃ ≈ 95 %, ZrO ₂ ≈ 5 %, белый	HV ₃₀ 17 300	4,02	700	5000	2

1. Оксидная керамика

Продолжение табл. 1.4

Фирма-изготовитель, страна	Марка, способ изготовления	Химическая основа, цвет пластин	Твердость	Плотность, г/см ³	σ _н		Размер зерна, мкм
					МПа		
«Карл Хертель» (ФРГ)	АС5, холодное прессование	Al ₂ O ₃ , белый	HV ₁₀ 17 000	3,99	480	—	2
«Сандвик Коромант», Швеция	GC 620	Al ₂ O ₃ + ZrO ₂ , белый	HV 16 500	3,97	—	—	2—3
«Тошиба Тунгадой», Япония	LXA	Al ₂ O ₃ , белый	—	—	—	—	—
«Сумитомо электрик», Япония	W80, горячее изостатическое прессование	Al ₂ O ₃ , белый	HV 24 000	3,97—3,98	700—800	—	1,2—1,6
«Ниппон Техникал Керамик», Япония	СХЗ, горячее изостатическое прессование	Al ₂ O ₃ , белый	HRA 93,5	4,00	1110	—	2—3
	С1, холодное прессование	Al ₂ O ₃ , белый	HRA 93—94	3,94	400—500	—	2—3
	НС1, горячее прессование	Al ₂ O ₃ , белый	HRA 94,5	3,98	600—700	—	2
«Ниппон Тунгстея», Япония	НРС-Н1, горячее изостатическое прессование	Al ₂ O ₃ , белый	HV 24 000	—	—	—	—

Продолжение табл. 1.4

Фирма-изготовитель, страна	Марка, способ изготовления	Химическая основа, цвет пластины	Твердость	Плотность, г/см ³	σ _и		σ _{сж}	Размер зерна, мкм
					МПа			
«Диас Тырнов», ЧССР	ДИСАЛ 100	Al ₂ O ₃ , белый	HV 24 000	3,97—3,98	400—500		—	—
	ДИСАЛ 210/220	Al ₂ O ₃ + ZrO ₂ , белый	HV 24 000	—	450—500		—	—
«Валенайт», США	V-34, горячее прессование	Al ₂ O ₃ , черный	HRA 94	—	690		—	—
	V-44, холодное прессование	Al ₂ O ₃ , белый	HRA 93—94	—	713—775		—	—
«Кеннаметал», США	K060, холодное прессование	99,9 % Al ₂ O ₃ , белый	HRA 93,5	—	700—770		—	—

II. Оксидно-карбидная керамика

СССР	ВОК-60, горячее прессование	Al ₂ O ₃ ≥ 60 %	HRA 94	4,2	600	—	2—3
			HRA 93	4,3	550—650	—	2—3
	ВОК-63, горячее прессование	TiC ≤ 40 % и др., черный	HRA 94	4,20—4,30	650—700	—	2—3
«Видиа Крупп», ФРГ	Widalox R, горячее прессование	Al ₂ O ₃ + TiC + ZrO ₂ , черный	HV ₃₀ 17 300	4,12	650	4800	2

Продолжение табл. 1.4

Фирма-изготовитель, страна	Марка, способ изготовления	Химическая основа, цвет пластины	Твердость	Плотность, г/см ³	σ _и		σ _{сж}	Размер зерна, мкм
					МПа			
«Фельдмолле», ФРГ	SHT-1, горячее прессование	Al ₂ O ₃ + TiC, черный	HV 30 000	4,28	650		—	1,8
		Al ₂ O ₃ ≥ 60 %, TiC < 40 %, черный	HV 25 000	4,3	380		—	2
	SH-20, горячее прессование	Al ₂ O ₃ ≥ 80 %, TiC < 20 %, черный	HV 21 000	4,28	400		—	2
	SH-20F		—	—	—		—	—
«Карл Хергель», ФРГ	MC2, горячее прессование	Al ₂ O ₃ + TiC, черный	HV ₁₀ 20 000	4,3	500		—	2
«Сандвик Коромант», Швеция	SC650, горячее прессование	Al ₂ O ₃ + TiN + TiC + ZrO ₂ , темно-коричневый	HV 18 000	4,27	400—500		—	—
«Тошиба Тунгадой», Япония	LX-21	Al ₂ O ₃ + TiC	—	—	—		—	—
«Сумитомо элек-трнк», Япония	NB90S, горячее изостатическое прессование	Al ₂ O ₃ + TiC, черный	HV 30 000	4,3—4,35	950		—	0,8—1,2
			NB90M, горячее изостатическое прессование	HV 29 000	4,35—4,40	900		—

Продолжение табл. 1.4

Фирма-изготовитель, страна	Марка, способ изготовления	Химическая основа, цвет пластян	Твердость	Плотность, г/см ³	σ _н		Размер зерна, мкм
					МПа		
«Ниппон Керамик», Япония	НС-2, горячее прессование	Al ₂ O ₃ + карбиды, черный	HRA 94,5	4,3	700—800	1350	2
«Ниппон Тунгстен», Япония	НРС-А2	Al ₂ O ₃ + TiC	HRA 94	4,24	850	—	—
«Диас ЦССР	ДИСАЛ 300	Al ₂ O ₃ + TiC	HV 25 000	—	500	—	—
«Валенайт», США	V-32, горячее прессование	Al ₂ O ₃ + карбиды, черный	HRA 94,5—96	—	830	—	—
«Карбалой», США	Get Max 460, горячее прессование	—	HRA 91—93	—	600—700	—	—
«Кениаметал», США	К090, горячее прессование	Al ₂ O ₃ + TiC, черный	HRA 95	—	910—940	—	—
СССР	ОНТ-20 (кортинит), горячее прессование	Al ₂ O ₃ + TiN, темно-коричневый	HRA 90—92	4,39	640	—	—
III. Керамика на основе нитрида кремния							
СССР	Силинит-Р, горячее прессование	На основе Si ₃ N ₄ , коричневый	HRA 92—94	3,2—3,4	500—700	2500	—

Продолжение табл. 1.4

Фирма-изготовитель, страна	Марка, способ изготовления	Химическая основа, цвет пластян	Твердость	Плотность, г/см ³	σ _н		Размер зерна, мкм
					МПа		
«Фельдмюллер», ФРГ	SL100	Si ₃ N ₄ , фиолетовый	HV 21 000	—	—	—	—
«Сандвик Кормант», Швеция	СС 680	Si ₃ N ₄ + Al ₂ O ₃ + IrO ₃ , серый	HV 14 500	3,17	—	—	—
«Кеннаметал», США	Кнон 2000, горячее прессование	Si ₃ N ₄ + Al ₂ O ₃	HV 16 000 (T = 20 °C) HV 13 000 (T = 1000 °C)	—	1200	—	—
	Кнон 3000	Si ₃ N ₄ + Al ₂ O ₃	—	—	—	—	—
«Кемикал Мегалургикал», США	Quantum 5000, горячее прессование	Si ₃ N ₄ + IrO ₃ + Al ₂ O ₃ (70 %), + TiC (до 30 %)	HRA 93,5	3,19	703	—	—
«Ниппон Техникал Керамик», Япония	SP4, горячее изостатическое прессование	Si ₃ N ₄ + Y ₂ O ₃ + ZrO ₂ + Al ₂ O ₃ с износостойким покрытием Al ₂ O ₃	—	—	—	—	—
	SX4, горячее изостатическое прессование	То же, без износостойкого покрытия	—	—	—	—	—
«Форд Мотор», США	S-8, горячее прессование	Si ₃ N ₄ + Y ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃ , черный	HRA 89—91	—	833—914	—	—

и др. Пластины получают методом горячего прессования. Известны зарубежные марки керамики этого типа: Кион 2000, Кион 3000 («Кеннаметал», США); СС680 («Сандвик Коромант»); SL100 («Фельдмюлле»); S-8 («Форд Мотор», США) и др. (см. табл. 1.4).

Отечественную керамику на основе нитрида кремния-силицида получают методами горячего прессования.

Надежность пластин при резании достигается благодаря высоким требованиям к технологии их изготовления, в том числе к исходному сырью: глинозему, карбиду титана, оксиду циркония и нитриду кремния. Вопросам качества сырья изготовители отводят значительную роль.

Керамическое сырье подвергают испытаниям по установленной методике и прежде всего определяют:

химическую чистоту (загрязнение глинозема соединениями Na_2O , SiO_2 , CaO недопустимо);

влажность;

площадь поверхности зерен, которая характеризует активность материала при спекании и позволяет оценивать предполагаемую зернистость;

прессуемость (определяется условиями переработки глинозема).

Если указанные испытания дали положительные результаты, то затем проверяют плотность спекания и зернистость.

В процессе спекания крупные зерна растут за счет мелких. Если шихта содержит слишком много мелких зерен, то происходит интенсивный рост небольшого числа крупных зерен, и средние размеры зерен керамики получаются очень большими. Если же шихта содержит много крупных зерен, то материала, необходимого для роста зерен, недостаточно, и во время спекания требуемая заданная плотность керамики не достигается. Сырье Al_2O_3 перерабатывают в промежуточный продукт — «массу». Вначале дозируют небольшие количества легирующих добавок, облегчающих спекание и тормозящих рост зерен. При смешивании эти добавки равномерно распределяются по всему объему массы; получается водная суспензия, которую после введения связующих веществ подвергают распылительной сушке. После этого процесс прерывается, и у полученной массы контролируют: химическую чистоту; обрабатываемость; плотность; средний диаметр зерен.

Если все проверки дают положительные результаты, то приступают к прессованию заготовок и последующему их спеканию.

Чистую оксидную керамику получают методом холодного прессования, т. е. Al_2O_3 прессуют при 20°C в пластины различных форм и затем подвергают спеканию. Эта технология очень экономична, она положена в основу производства 90 % всех режущих пластин.

Плотность и зависящая от нее остаточная пористость спеченных пластин определяется давлением при прессовании. В про-

цессе спекания происходит усадка прессованных пластин с одновременным ростом отдельных поликристаллов в более крупные зерна. Достижение высокой плотности и тонкозернистой структуры очень сложно потому, что уплотнение во время нагрева возможно только благодаря росту зерен. Следовательно, необходимо тормозить рост зерен и в то же время добиваться высокой плотности пластин. Фирма «Фельдмюлле» разработала специальное оборудование и технологию спекания для изготовления пластин из керамики, которые позволяют получать средние значения зернистости не более 2 мкм при плотности, равной 98—99 % теоретической. На качество режущих пластин из керамики влияет не только средний размер зерна, но и гранулометрический состав.

Наиболее часто встречающийся размер зерен примерно 2,2 мкм, а зерен, размер которых превышает 6 мкм, практически нет.

Прочность керамики зависит от среднего размера зерна и, например, для оксидной керамики снижается от 3,80—4,20 ГПа до 2,55—3,00 ГПа при увеличении размеров зерен соответственно от 2—3 до 5,8—6,5 мкм.

У оксидно-карбидной керамики гранулометрический состав еще более тонкозернистый, и средний размер зерен Al_2O_3 в основном меньше 2 мкм, а размер зерен карбида титана составляет 1—3 мкм.

При высокой температуре, которая действует в условиях резания, твердость пластин из оксидной и оксидно-карбидной керамики SN56 и SHT-1 в 2,—2,5 раза выше, чем твердых сплавов.

Существенным недостатком керамики является ее хрупкость — чувствительность к механическим и термическим ударным нагрузкам. Для устранения этого недостатка разработаны различные составы оксидно-карбидной керамики.

Включение в керамику на основе оксида алюминия моноклинной двуокиси циркония ZrO_2 вызывает улучшение структуры и тем самым заметно повышает ее прочность.

Исходным материалом для производства оксидной и оксидно-карбидной керамики в СССР является технический глинозем, полученный из гидрата глинозема прокаливанием при температуре $1100\text{—}1200^\circ\text{C}$ и представляющий собой смесь двух модификаций: $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ с плотностью $3,65\text{ г/см}^3$ и $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ с плотностью $3,96\text{ г/см}^3$. Полный переход γ в α -модификацию достигается при $T = 1400 \dots 1600^\circ\text{C}$. Производство оксидной керамики включает несколько этапов.

1. Прокаленный до $1500\text{—}1550^\circ\text{C}$ глинозем подвергают тонкому виброизмельчению в течение 1—2 ч до получения частиц размером 1 мкм (до 80 % в основной массе) при максимальном размере частиц 2 мкм. Полученный продукт обогащают и сушат.

2. В сухой порошок оксида алюминия вводят модифицирующую добавку оксида магния (0,5—1,0 %), затем производят пластификацию и холодное прессование полученной смеси.

3. Спекуют отпрессованные пластины при температуре около 1750 °С и кратковременном режиме отжига с выдержкой в течение 5—10 мин в области температурного максимума.

4. Выполняют механическую обработку заготовок пластин. Установлено, что оптимальная дисперсия исходного порошка для спекания оксидной керамики составляет 0,5—0,75 мкм.

Рост зерна α -глинозема (содержание фракции 0,5 мкм в пределах 40—70 %) идет весьма медленно до $T = 1600 \dots 1650$ °С. При $T = 1650$ °С размер спеченной керамики составляет 2—3 мкм. При $T = 1680 \dots 1740$ °С начинается стремительный рост кристаллов, их размеры могут достигать 30—50 мкм, а конфигурация изменяется: кристаллы вытягиваются, принимают удлиненную форму. Такое протекание рекристаллизации характерно, например, для тонкомолотого глинозема ГО.

Введение в глинозем легирующих добавок резко меняет протекание рекристаллизации. Легирующие добавки можно разделить на три группы: замедлители, ускорители и промежуточные. Замедлители рекристаллизации — оксиды магния, кремния, железа, кальция, натрия. Оксид магния является очень эффективным замедлителем кристаллизации. Введение даже сотых долей процента оксида магния резко приостанавливает рост кристаллов. Механизм торможения роста кристаллов при введении оксида магния можно представить следующим образом. Оксид магния, распределенный в порошке α -глинозема, адсорбируется на гранях кристаллических агрегатов. Адсорбция оксида магния идет интенсивнее на гранях кристаллов, обладающих большой энергией роста. При нагревании порошка оксид магния реагирует с оксидом алюминия, образуя на поверхности зерен шпинелевую оболочку, более плотную на одних гранях и менее плотную на других. Эта шпинелевая оболочка в дальнейшем замедляет рост кристаллов, обуславливая мелкую и изометрическую форму зерен.

Режим спекания оказывает большое влияние на конечные свойства керамики. Оптимальная температура спекания керамики зависит от дисперсности исходного порошка, наличия в нем примесей и продолжительности нагревания. При размере зерен порошка 0,5—1,0 мкм (40—70 % по массе) и наличии легирующей присадки (до 0,5—1,0 % по массе) спекание пластин оксидной керамики возможно при $T = 1710$ °С с выдержкой в течение 5—10 мин. При увеличении температуры до 1780—1820 °С выдержка может быть сокращена до 1—2 мин.

Установлено, что оптимальными являются непродолжительные выдержки при высоких температурах. Длительность выдержки в области температурного максимума является важнейшим средством управления структурой и свойствами спеченной керамики с легирующими добавками.

Оксидная керамика ВО-13 представляет собой материал на основе оксида алюминия с незначительными добавками оксида магния и относится к группе I керамических материалов (см. табл. 1.4). Ее изготавливают методами порошковой металлургии, холодным прессованием с последующим спеканием. Средний размер зерна ВО-13 до 4 мкм. Отечественная промышленность освоила выпуск керамики ВО-13 в виде шлифованных сменных многогранных пластин по ТУ 19-4203-125—81. Резцы с пластинами из керамики ВО-13 широко применяют при точении нетермообработанных «сырых» сталей, серых чугунов. Эффективность применения этой керамики определяется ее относительно невысокой стоимостью по сравнению со стоимостью оксидно-карбидной керамики.

Исходным материалом для получения оксидно-нитридной керамики кортинит (ОНТ 20) является глинозем ГЛМК по ТУ 48-5-200—79 и нитрид титана по ТУ 88-021—82 (см. табл. 1.4).

Силинит-Р входит в группу III (см. табл. 1.4) керамики на основе соединений нитрида кремния с карбидами и оксидом алюминия.

Особенности силинита-Р определяются специфическими свойствами кристаллической структуры нитрида кремния (Si_3N_4) и ковалентным типом связи между атомами. Именно наличие жестких направленных связей между атомами азота и кремния в решетке обуславливает высокую твердость, малый коэффициент линейного расширения, стабильность физико-механических свойств в широком диапазоне изменения температуры. По этой же причине в силините-Р заторможена диффузия, что обуславливает его высокую стойкость в условиях адгезионного и диффузионного изнашивания. Силинит-Р имеет повышенную по сравнению с другими разновидностями оксидной керамики энергию разрушения или связанную с этой энергией трещиностойкость (коэффициент $K_{Ic} \approx 4,5$ МПа·м^{1/2}).

Коэффициент K_{Ic} определяли методом трехточечного изгиба с надрезом. Образцы силинита-Р изготавливали на прессе ПА 803 горячего прессования прямого нагрева в многоместной графитовой матрице, рассчитанной на одновременное получение четырех прямоугольных штабиков (образцов) размером 5×5×35 мм. Температуру контролировали с помощью оптического пирометра ОППИР-017. Полученные образцы шлифовали алмазными кругами зернистостью 60/40 и затем делали надрез толщиной 0,2 мм и глубиной 2 мм.

Коэффициент K_{Ic} рассчитывали по формуле

$$K_{Ic} = \frac{3}{2} \psi \frac{Fl}{b\omega^2} \sqrt{a}, \quad (1.1)$$

где ψ — геометрический фактор, характеризующий отношение величины излома к площади сечения образца; F — разрушающая сила; l — расстояние между опорами; b — ширина образца, мм; ω — высота образца, мм; a — глубина надреза на образце.

Для $l/\omega = 4$ получаем

$$\psi = 1,93 - 3,07 \frac{a}{\omega} + 14,53 \left(\frac{a}{\omega}\right)^2 - 25,11 \left(\frac{a}{\omega}\right)^3 + 25,8 \left(\frac{a}{\omega}\right)^4. \quad (1.2)$$

Изготовление керамики на основе нитрида кремния не требует применения дефицитных материалов, а также уникального или нестандартного технологического оборудования. В качестве основного исходного сырья используют порошок нитрида кремния β -модификации со средним размером частиц 0,6—1,2 мкм, производимый серийно в промышленных условиях. Горячее прессование выполняют в многоместных графитовых матрицах, позволяющих одновременно спекать до 50 заготовок в зависимости от размера пластин.

Изготовление пластин начинают с размолла компонентов смеси и приготовления шихты. Затем выполняют смешивание компонентов, мокрый размол приготовленной шихты, сушку, дозирование и горячее прессование. Закончив прессование, разбирают пресс-форму, вынимают спрессованные заготовки и передают их на механическую обработку.

Качество и стабильность режущих пластин в значительной степени определяются следующими факторами: содержанием карбида титана и оксида алюминия в исходной шихте, временем размолла смеси, температурой и временем выдержки при горячем прессовании, давлением прессования.

Для определения режущих свойств керамики провели сравнительные испытания при точении стали ХВГ (HRC 60—62) по режиму: $v = 50$ м/мин; $t = 0,25$ мм; $S = 0,075$ мм/об. Геометрические параметры режущей части резцов: $\varphi = 45^\circ$; $\varphi_1 = 15^\circ$; $\alpha = \alpha_1 = 7^\circ$ и $\gamma = -15^\circ$. Испытывали керамику обычного и оптимального состава. Стойкость резцов составляла $T_{об} = 60$ мин и $T_{опт} = 105$ мин.

Ниже приведены значения составляющей силы резания P_y для тех же материалов в зависимости от продолжительности точения:

Время точения τ , мин	20	40	60	80	100
Составляющая силы резания P_y , Н, для керамики состава:					
обычного	280	385	400	—	—
оптимального	150	235	295	370	387

Анализ результатов показывает, что увеличение коэффициента K_{1c} приводит к уменьшению P_y и интенсивности изнашивания в начальный период. Это свидетельствует о повышении прочности и более длительном сохранении остроты режущих кромок.

1.3. Области применения режущих инструментов из СТМ и керамики

Области применения композита разных марок определяются размерами и физико-механическими характеристиками поликристаллов.

Композит 01 и композит 02 — поликристаллы из кубического нитрида бора (КНБ) с минимальным количеством примесей — применяют для тонкого и чистового точения, преимущественно без удара, и торцового фрезерования закаленных сталей и чугунов любой твердости, твердых сплавов ($Co \geq 15\%$) с глубиной резания 0,05—0,5 мм (максимально допустимая глубина резания 1,0 мм).

Композит 05 — поликристаллы, спеченные из зерен КНБ со связкой, — применяют для предварительного и окончательного точения без удара закаленных сталей (HRC_c ≤ 60) и чугунов любой твердости с глубиной резания 0,05—3,0 мм, а также для торцового фрезерования заготовок из чугуна любой твердости, в том числе по корке, с глубиной резания 0,05—6,0 мм.

Композит 10 и двухслойные пластины из композита 10Д (композит 10 на подложке из твердого сплава) — поликристаллы на основе вюрцитоподобного нитрида бора (ВНБ) — применяют для предварительного и окончательного точения с ударом и без удара и торцового фрезерования сталей и чугунов любой твердости, твердых сплавов ($Co \geq 15\%$) с глубиной резания 0,05—3,0 мм, прерывистого точения (наличие на обрабатываемой поверхности отверстий, пазов, инородных включений).

Инструмент, оснащенный поликристаллическими алмазами (ПКА), предназначен для чистовой обработки цветных металлов и сплавов, неметаллических материалов вместо твердосплавного инструмента.

Таким образом, инструменты из СТМ на основе нитрида бора и алмаза имеют свои области применения и практически не конкурируют друг с другом.

Области применения керамики и СТМ на основе нитрида бора в значительной степени перекрываются.

Резцы с пластинами или вставками из композита 01 обладают способностью самозатачиваться при изнашивании, т. е. сохранять радиус скругления режущей кромки почти неизменным в пределах $\rho = 20 \dots 50$ мкм в течение всего периода стойкости.

Это способствует уменьшению шероховатости обработанной поверхности и, как следствие, повышает стойкость резцов по технологическому критерию при чистовой обработке. Резцы с пластинами из керамики такой способностью не обладают — кромка у них скругляется значительно интенсивнее и больше.

1.5. Рекомендации по выбору марок керамики

Обрабатываемый материал	Твердость	Керамика для обработки		
		тонкой	чистой	получистой
Чугун: серый	НВ 143—289	ВО-13, ВШ, ЦМ-332	ВО-13, ВШ, ЦМ-332	ВО-13, ВШ, ЦМ-332
ковкий	НВ 163—269	ВО-13, ВШ	ВО-13, В-3	ВШ, В-3, ВО-13
	НВ 170—369	ВШ, В-3, ВО-13	В-3, сили- нит-Р, ВШ, ВО-13	В-3, сили- нит-Р, ВШ, ВОК-60
отбеленный	НВ 400—650	ВОК-60, кортинит, В-3	ВОК-60, кортинит, В-3	ВОК-60, кортинит, В-3
Сталь: качественная кон- струкционная	НВ 160—229	ВО-13, ВШ, ЦМ-332	ВО-13, ВШ, ЦМ-332	ВО-13, ВШ, ЦМ-332
конструкционная легированная	НВ 179—229	ВО-13, ВШ, ЦМ-332	ВО-13, ВШ, ЦМ-332	ВО-13, ВШ, ЦМ-332
улучшенная	НВ 229—380	ВШ, ВО-13, ВОК-60, силилит-Р	ВШ, ВО-13, ВОК-60, силилит-Р	В-3, ВОК-60, ВШ, ВО-13
цементуемая зака- ленная	HRC _s 36—48	ВОК-60, кортинит, В-3	ВОК-60, кортинит, В-3	ВОК-60, В-3, кортинит
	HRC _s 48—57	ВОК-60, кортинит	ВОК-60, В-3, кортинит	Кортинит, ВОК-60, кортинит
	HRC _s 57—64	ВОК-60, В-3, ВОК-71, кортинит	ВОК-60, В-3, кортинит, ВОК-71	ВОК-60, В-3, кортинит, ВОК-71
Цветные металлы на основе меди	НВ 60—120	В-3, кортинит	В-3, кортинит	В-3, кортинит
Сплавы на основе ни- келя	—	Силилит-Р	Силилит-Р	Силилит-Р
		Кортинит	Кортинит	Кортинит

Композит 01 обладает определенным преимуществом по сравнению с керамикой при точении закаленных сталей высокой твердости во всем диапазоне режимов резания, характерных для обработки этих материалов, а также при точении серого и высокопрочного чугунов со сравнительно небольшими сечениями среза.

Керамика предпочтительнее при точении заготовок из ферритных ковких чугунов и незакаленных конструкционных сталей (в последнем случае композиты всех марок при скоростях резания свыше 250 м/мин, присущих керамике, практически неработоспособны).

При точении серого и высокопрочного чугунов со значительными сечениями среза ($S = 0,2 \dots 0,25$ мм/об и более) у композита 01 выше износостойкость, но силы резания и шероховатость обработанной поверхности те же, что и при точении инструментами с пластинами из керамики. В этих случаях выбор керамики или СТМ определяется конкретными технологическими условиями и экономической целесообразностью.

Исследование и опыт внедрения инструментов с пластинами из керамики различных марок позволяют рекомендовать следующие области ее применения:

оксидная (чистая, белая) керамика ВО-13, ЦМ-332, ВШ-75 — для чистой и получистой обработки нетермообработанных сталей, серых чугунов с высокими скоростями резания (до 800—1000 м/мин);

оксидно-карбидная (смешанная, черная) керамика ВОК-60, ВОК-63, В-3, кортинит ОНТ-20 — для чистой, получистой и прерывистой обработки ковких, высокопрочных, отбеленных, модифицированных чугунов, сталей, закаленных до HRC_s 30—55 и HRC_s 56—65; кроме того, керамика В-3 и ОНТ-20 рекомендуется для обработки цветных металлов на основе меди;

нитридная керамика силилит-Р — для получистой обработки чугунов.

Рекомендации по областям применения и выбору различных марок отечественной керамики даны в табл. 1.5. Исходя из конкретных условий обработки (состояние оборудования, припуски на обработку, требования к качеству и т. д.), в каждом случае следует корректировать применение той или другой марки керамики вплоть до проведения сравнительных экспресс-испытаний. Керамика ЦМ-332 в настоящее время заменяется керамикой ВО-13.

2. КОНСТРУКЦИИ И НОМЕНКЛАТУРА РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ, ОСНАЩЕННЫХ СТМ И КЕРАМИКОЙ

2.1. Режущие инструменты, оснащенные СТМ

Эксплуатационные показатели инструмента из СТМ — период стойкости, число периодов стойкости (повторных заточек режущих кромок), предельно допустимая площадь сечения срезаемого слоя (подача и глубина резания) и конструкция — в значительной степени зависят от способа и технологии закрепления поликристаллического режущего элемента в инструменте.

Главным направлением развития конструкций инструментов из СТМ является создание резцов и фрез с механическим креплением цельных и двухслойных, круглых и многогранных шлифованных режущих пластин [4].

Перетачиваемый инструмент, оснащенный СТМ, рекомендуется лишь в тех случаях, когда конструкция с механическим креплением пластин технически невозможна (из-за вида инструмента, его габаритов, геометрических параметров и т. п.).

В СССР выпускают широкую номенклатуру (см. приложение 1) токарных и расточных резцов, режущих пластин и вставок с неразъемно закрепленным поликристаллом, торцовых фрез, оснащенных композитом.

В перетачиваемых вставках, токарных и расточных резцах с неразъемным креплением поликристалла композита 01 и композита 10 последний закреплен путем вакуумной пайки, пайки металлизированных заготовок на установке ТВЧ или динамического горячего прессования. Лучшее качество обеспечивает пайка поликристаллов в стальной или твердосплавный (для мелкоразмерного инструмента) корпус адгезионно-активным припоем в вакууме.

Выпускают круглые вставки ($D \times L = 8 \times 16$; 8×18 ; 8×20 мм), оснащенные поликристаллами композитов 01 и 10 (рис. 2.1), для токарных, подрезных и расточных резцов сечением 16×16 ; 20×20 ; 25×25 ; 25×20 мм с механическим креплением (винтом или прихватом) таких вставок (рис. 2.2), а также расточные резцы круглого ($D \times L$ равно 10×25 ; 12×25 ; 16×30 ; 16×60 мм; φ равно 35 ; 45 ; 60°) и прямоугольного ($B \times H = 10 \times 10 \times 40$; $10 \times 10 \times 65$; $12 \times 12 \times 70$; $16 \times 16 \times 80$ мм; φ равно 15 ; 30 ; 45 ; 60°) сечений (рис. 2.3), в том числе для координатно-расточных станков для обработки отверстий диаметром 5—30 мм (оснащаются поликристаллами композитов 01 и 10, рис. 2.4).

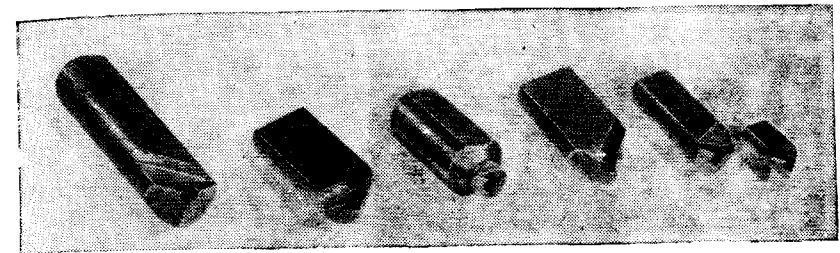


Рис. 2.1. Вставки режцовые с неразъемно закрепленным (запаянным) поликристаллом композитов 01, 02 или 10

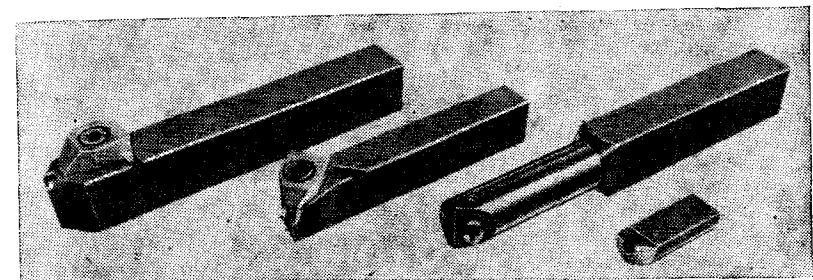


Рис. 2.2. Резцы токарные сборные с перетачиваемыми вставками, оснащенными композитом 01, 02 или 10

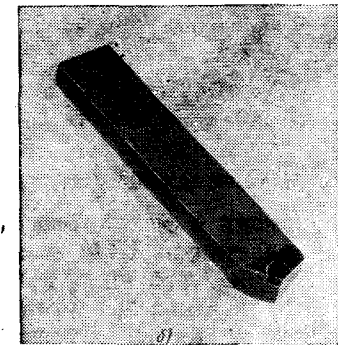
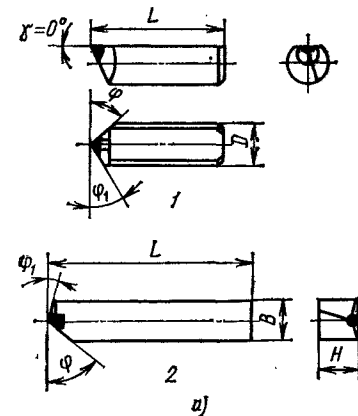


Рис. 2.3. Расточные резцы, оснащенные композитом 01 или 10: а — конструкция; 1 — круглого сечения; 2 — прямоугольного сечения; б — общий вид

Выпускают также токарные резцы со вставками, оснащенными поликристаллами композита 02.

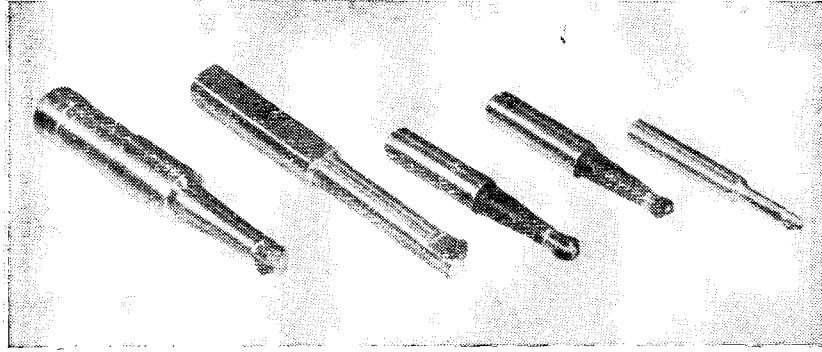


Рис. 2.4. Расточные резцы для координатно-расточных станков, оснащенные композитом 01 или 10

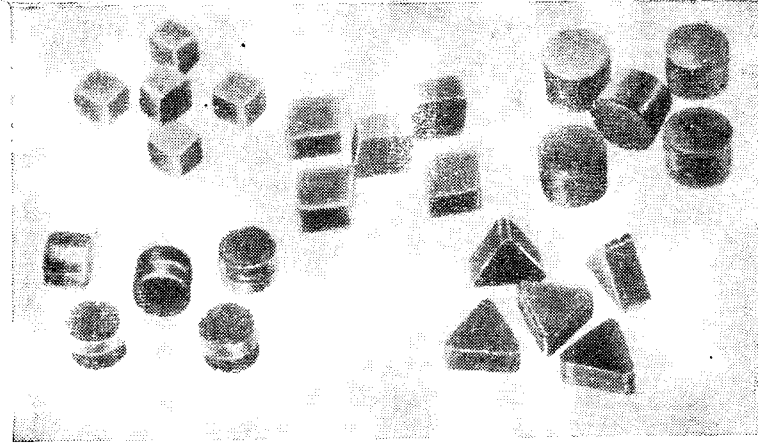


Рис. 2.5. Режущие цельные и двухслойные пластины из композитов

Инструмент с механическим креплением круглых и многогранных пластин из СТМ имеет ряд важных преимуществ перед напайным: не требуется повторная заточка у потребителей; повышается надежность закрепления режущего элемента; увеличивается стабильность эксплуатационных показателей пластин.

В настоящее время освоено производство шлифованных по всем поверхностям цельных круглых пластин из композита 01, цельных круглых, ромбических, квадратных и трехгранных пластин из композита 05, двухслойных круглых, квадратных и ромбических пластин из композита 10Д (рис. 2.5, табл. 2.1 и 2.2). Степени точности пластин приведены в табл. 2.3.

2.1. Режущие пластины из композита для резцов	
Композит 01	Композит 05
<p>Круглая</p> <p>$d = 3,6 \text{ мм}; s = 3,18 \text{ мм}; s = 2,38 \text{ мм}$</p>	<p>Круглая</p> <p>$d = 6,35 \text{ мм}; s = 3,97 \text{ мм}; d = 7,0 \text{ мм}; s = 5,0 \text{ мм}; d = 9,52 \text{ мм}; s = 3,97 \text{ мм}; d = 12,7 \text{ мм}; s = 3,97 \text{ мм}$</p> <p>Квадратная</p> <p>$d = 5,56 \text{ мм}; s = 3,97 \text{ мм}; d = 6,35 \text{ мм}; s = 3,97 \text{ мм};$</p>
	<p>Ромбическая (80°)</p> <p>$d = 5,56 \text{ мм}; s = 3,97 \text{ мм}; d = 6,35 \text{ мм}; s = 3,97 \text{ мм}$</p> <p>Трехгранная</p> <p>$d = 4,76 \text{ мм}; s = 3,97 \text{ мм}; d = 5,56 \text{ мм}; s = 3,97 \text{ мм}$</p>
	<p>Композит 10 Д (двухслойная)</p> <p>Круглая</p> <p>$d = 5,56 \text{ мм}; s = 3,97 \text{ мм}; d = 6,35 \text{ мм}; s = 3,97 \text{ мм}$</p> <p>Ромбическая (80°)</p> <p>$d = 3,97 \text{ мм}; s = 3,97 \text{ мм}; d = 5,56 \text{ мм}; s = 3,97 \text{ мм}$</p> <p>Квадратная</p> <p>$d = 3,97 \text{ мм}; s = 3,97 \text{ мм}; d = 5,56 \text{ мм}; s = 3,97 \text{ мм};$</p>

Примечания: 1. Пластины изготавливают степеней точности U, M и G; радиусы при вершине многогранных пластин 0,2; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6 мм.
2. Режущие кромки пластин в двух исполнениях: F (острая) и T (со стандартной защитной фаской 0,2×20°).

2.2. Режущие пластины из СТМ степени точности Н для оснащения торцовых регулируемых фрез кассетной конструкции

2.3. Предельные отклонения размеров круглых и многогранных режущих пластин из композита

Эскизы	Материал	<i>d</i>	<i>s</i>	<i>f</i>	<i>R</i>	$\alpha, ^\circ$
		мм				
	К05	6,35 9,52	3,97	—	—	0
	К10Д	5,56 6,35				
	ПКА	5,56 6,35 9,52	3,97 или 3,18	—	—	7 и 11
	К05	5,56 6,35 9,52	3,97	1,0 1,2 1,4	—	0
	К10Д	5,56 6,35		1,0 1,2		
	ПКА	5,56 6,35 9,52	3,97 или 3,18	1,0 1,2 1,4	—	7 и 11
	К05	5,56 6,35 9,52	3,97	—	1,2 1,6	0
	К10Д	5,56 6,35			1,2 1,6	
	ПКА	5,56 6,35 9,52	3,97 или 3,18	1,2 1,6	7 и 11	
	К05	5,56 6,35 9,52	3,97	1,0 1,2 1,4	30 40 60	0
	К10Д	5,56 6,35		1,0 1,2	30 40	
	ПКА	5,56 6,35 9,52	3,97 или 3,18	1,0 1,2 1,4	30 40 60	7 и 11

Контролируемые параметры	Степень точности			
	U	M	G	H*
Диаметр вписанной окружности <i>d</i>	$\pm 0,08$	$\pm 0,05$	$\pm 0,025$	$\pm 0,013$
Диаметр круглых пластин <i>d</i>	$\pm 0,08$	$\pm 0,05$	$\pm 0,025$	$\pm 0,013$
Толщина <i>s</i>	$\pm 0,13$	$\pm 0,13$	$\pm 0,13$	$\pm 0,025$
Размер <i>m</i>	$\pm 0,13$	$\pm 0,08$	$\pm 0,025$	$\pm 0,013$
Толщина рабочего слоя из СТМ у двух-слойных пластин	$\pm 0,20$	$\pm 0,20$	$\pm 0,20$	$\pm 0,20$
Угол при вершине, °	± 15	± 15	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$
Угол задний, °	-1	-1	-1	-1
Отклонение от перпендикулярности боковых поверхностей опорным (для плоских с $\alpha = 0$), °	± 30	± 30	± 15	± 4
Отклонение от параллельности опорных поверхностей	0,025	0,025	0,025	0,008
Отклонение от плоскостности опорных поверхностей:				
выпуклость	0,005	0,005	0,005	0,005
вогнутость	0,015	0,015	0,015	0,015
Отклонение от плоскостности боковых поверхностей:				
выпуклость	0,025	0,025	0,010	0,010
вогнутость	0,025	0,025	0,010	0,010

* Степень точности пластин для фрез.
 Примечания: 1. Линейные размеры — в мм.
 2. Размер *m* служит для задания номинального положения вершины пластины. Предельные отклонения размера *m* являются предельными отклонениями вершины пластины от номинального положения.

Серийное производство пластин из СТМ с диаметром вписанной окружности свыше 13 мм экономически неоправданно: такие пластины находят применение лишь в редких случаях. Специальные инструменты для снятия больших припусков создают на основе ступенчатых конструкций. Многогранные твердосплавные пластины стандартных размеров с запаянным в одном из углов двух-слойным режущим элементом из СТМ целесообразны для алмазных инструментов. Это объясняется тем, что их внедрение эффективно даже без изменения режима резания — за счет повышения стойкости в десятки и сотни раз. В этом случае в ту же инструментальную наладку, в корпус резца или фрезы устанавливают новую пластину с размерами, равными размерам замененной твердосплавной пластины. Внедрение инструментов из СТМ на основе нитрида бора всегда требует резкой интенсификации режима резания, новых оборудования и оснастки.

Примечания: 1. Допуски размеров пластин: $s \pm 0,025$; $d \pm 0,013$; $m \pm 0,013$.
 2. К05 — сокращенное обозначение композита 05, К10Д — композита 10Д, ПКА — поликристаллических алмазов.

Рекомендуется выпускать цельные и двухслойные, негативные (без задних углов) и позитивные (с задними углами) пластины и с их использованием создавать инструмент и спецналадки.

Выпускают токарные проходные, подрезные и расточные резцы с механическим креплением круглых и многогранных пластин из

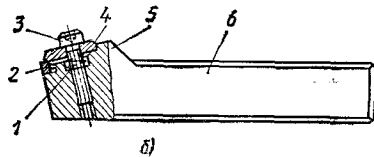
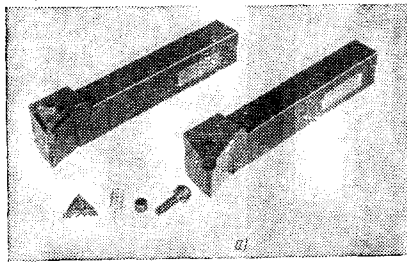


Рис. 2.6. Резец токарный сборный с механическим креплением пластин из композита (пластина базируется в закрытом гнезде в корпусе): а — общий вид; б — конструкция; 1 — пружина; 2 — режущая пластина из композита; 3 — крепежный винт; 4 — прихват; 5 — опорный выступ; 6 — корпус

позита; 3 — крепежный винт; 4 — прихват; 5 — опорный выступ; 6 — корпус

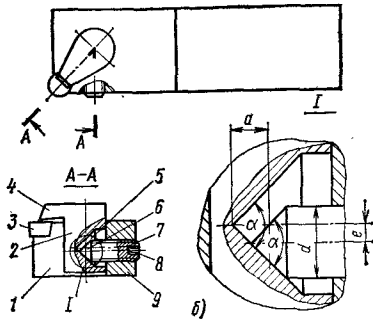
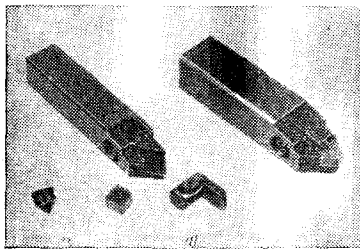


Рис. 2.7. Резцовая расточная вставка с механическим креплением ромбических пластин из композита:

а — общий вид; б — конструкция; 1 — цилиндрическое отверстие в корпусе; 2 — цилиндрическая направляющая прихвата; 3 — режущая пластина; 4 — прихват; 5 — коническая поверхность прихвата; 6 — коническая поверхность крепежного винта; 7 — крепежный винт; 8 — отверстие под ключ; 9 — корпус

композиатов 01, 05 и 10Д (рис. 2.6), резцовые вставки с механическим креплением ромбических пластин из композиатов 05 и 10Д для сверлильно-фрезерно-расточных станков с ЧПУ (рис. 2.7), вставки (рис. 2.8) с механическим креплением круглых пластин из композита 01 и ромбических — из композита 05. По заказам потребителей поставляются токарные проходные ступенчатые резцы с механическим креплением круглых пластин из композиатов 05 и 10Д для обработки прокатных валков с глубиной резания до 6—8 мм (рис. 2.9). Режущая пластина базируется в глухом пазу в корпусе из закаленной инструментальной стали твердостью

HRC₃ 50—60 и зажимается сверху прихватом также из закаленной стали. Пружина служит для фиксации прихвата при замене пластины.

В отдельных случаях для повышения технологичности изготовления резца боковые базы выполняют в виде съемного сепаратора, который приклеивают к корпусу. Однако цельный корпус с глухим гнездом безусловно предпочтительнее. Разработана конструкция резца с боковым расположением крепежного винта (см. рис. 2.7).

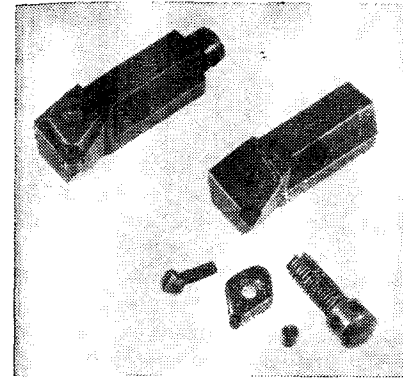


Рис. 2.8. Резцовая расточная регулируемая вставка с механическим креплением пластины из композита

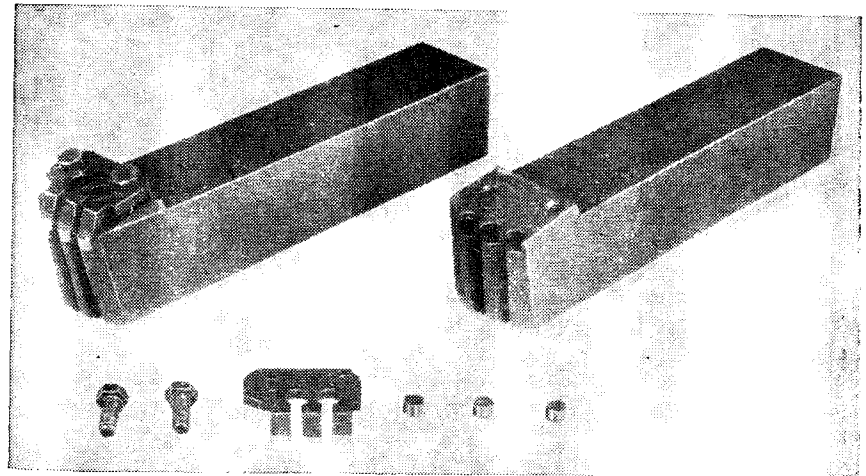


Рис. 2.9. Резец токарный ступенчатый для обработки прокатных валков

Разработана также компактная конструкция расточного резца круглого сечения диаметром 12 мм с механическим креплением пластин из композита (рис. 2.10).

Основные направления конструирования фрез из композита определяются теми технологическими задачами, которые должны эффективно решаться благодаря их применению.

Выпускают торцовые сборные фрезы диаметром 40—200 мм со вставными перетачиваемыми ножами, оснащенными поликристаллами композитов 01 или 10 (рис. 2.11), с регулируемым торцовым биением до 0,002 мм (например, в приспособлении, показанном на рис. 2.12). Для снижения шероховатости обработанной поверхности при работе с повышенными подачами радиус вершины ножей выполняют 20—50 мм. Область применения этих фрез — обработка открытых и закрытых (типа направляющих «Ласточкин хвост») поверхностей на шлифовальных и координатно-расточных станках взамен предварительного и окончательного шлифования, частично взамен шабрения. Фрезы (рис. 2.11, б) состоят из корпуса 1 и вставных ножей 3, закрепленных в корпусе клиньями 2 с помощью винтов 4. Пружина 5 создает постоянное силовое замыкание клина с ножом для предохранения его от выпадания из корпуса при раскреплении винтов, а также для того чтобы было

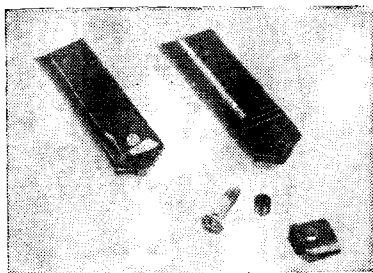


Рис. 2.10. Резцовая расточная вставка круглого сечения с пластиной из композита 01

возможно плавное регулирование осевого положения ножа в отверстии с помощью регулировочного ключа 6. Существуют иные конструктивные исполнения, в равной мере обеспечивающие быструю и точную настройку минимального торцового биения. Присоединительные размеры предусмотрены в двух исполнениях — для шлифовальных и металлорежущих станков. Глубина резания — не более 0,5 мм при продольных подачах до 5 м/мин (большой радиус при вершине ножей — необходимый конструктивный элемент, обеспечивающий возможность нормальной работы на высоких подачах). Параметр шероховатости обработанной поверхности $Ra = 0,2 \dots 2,0$ мкм.

Разработаны торцовые сборные фрезы кассетной конструкции диаметром 125—800 мм с механическим креплением высокоточных пластин круглой и квадратной формы из композитов 05 и 10Д (рис. 2.13), с регулируемым торцовым биением режущих кромок 0,002—0,012 мм в зависимости от диаметра. Такая фреза (рис. 2.13, б) состоит из корпуса 1 и сменных кассет с режущими пластинами 9. Кассеты крепят в пазах корпуса винтами 8. Кассеты состоят из державки 2, прихвата 6, крепежного винта 7, сухаря-клина 3 и регулировочного винта 4 с контргайкой 5. Конструкция фрезы предусматривает осевую регулировку кассет. Предварительная осевая регулировка осуществляется вин-

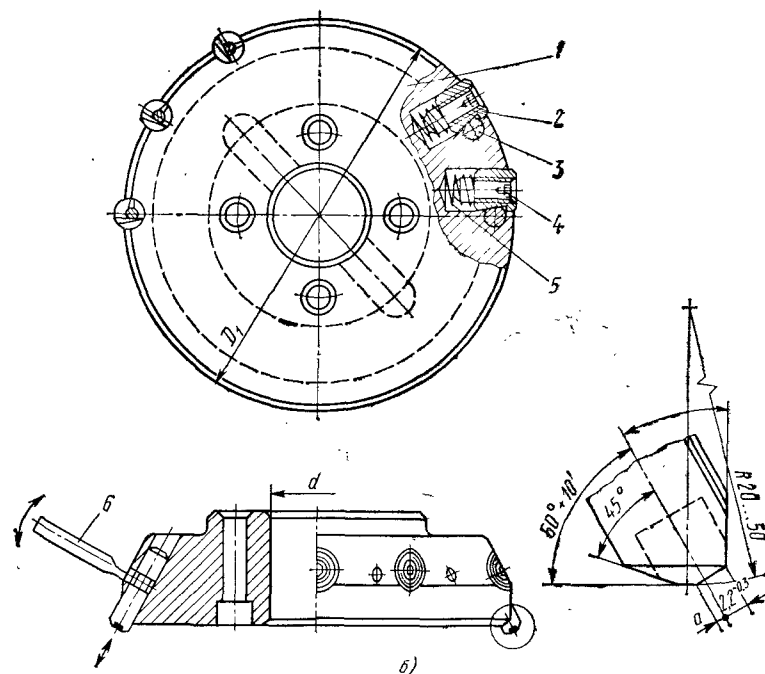
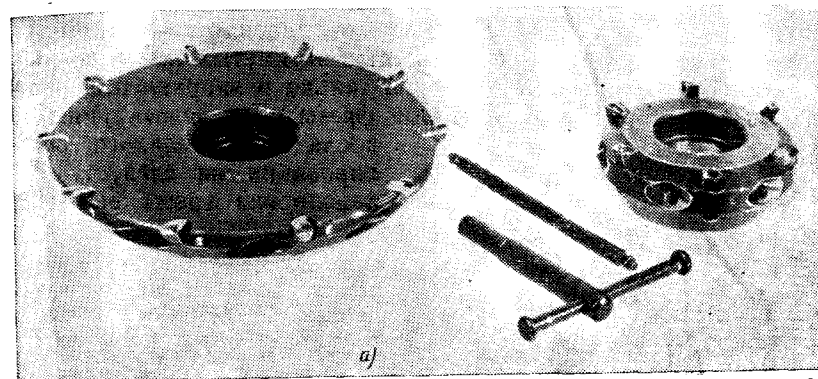


Рис. 2.11. Фреза торцовая насадная регулируемая со вставными перетачиваемыми ножами, оснащенными композитами 01 или 10:

а — общий вид; б — конструкция

тами 4, окончательная осевая регулировка, обеспечивающая торцовое биение режущих кромок 1—5 мкм (в зависимости от диаметра фрезы), осуществляется при полностью затянутых после предварительного регулирования винтах 8 только в направлении перемещения кассет от опорного торца фрезы. Дотягивать винты 8 после окончательного регулирования не следует. Балансировка фрезы выполня-

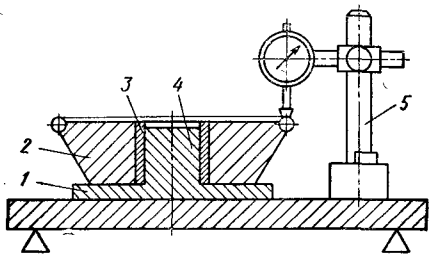
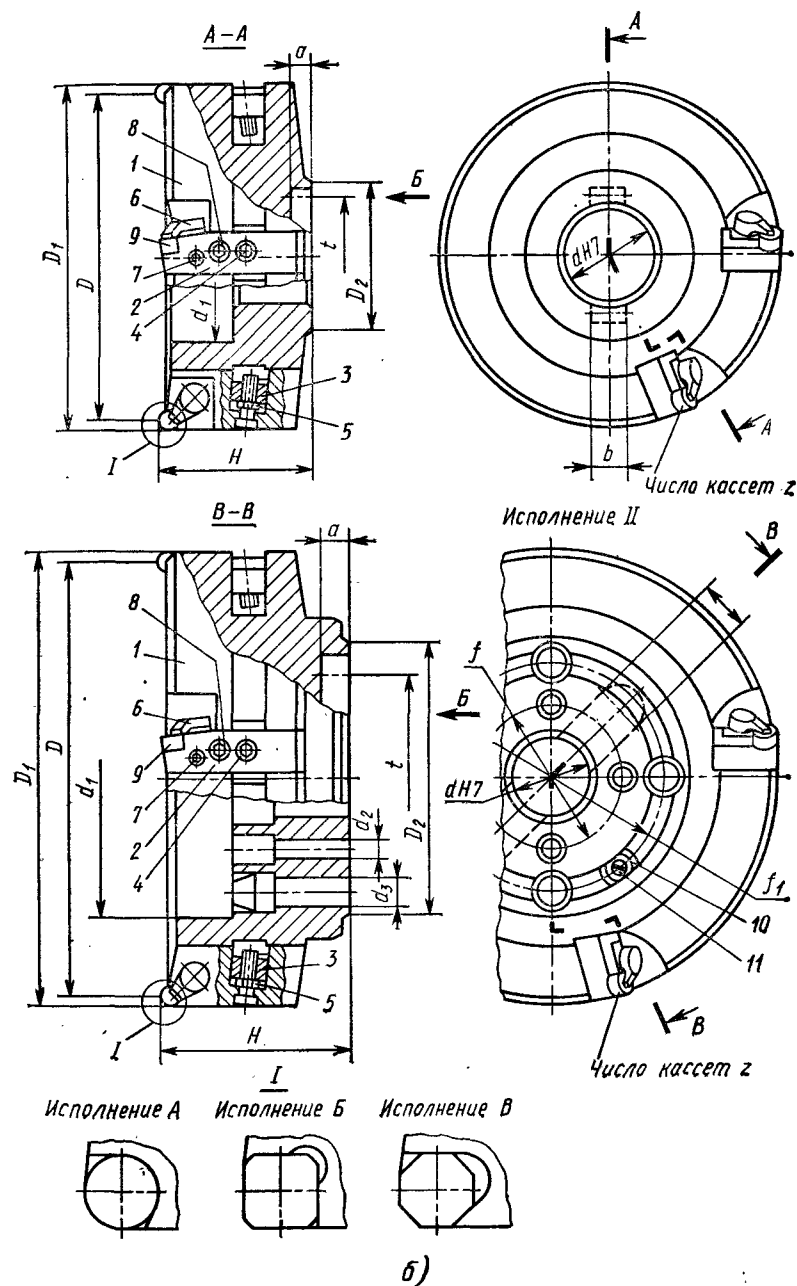
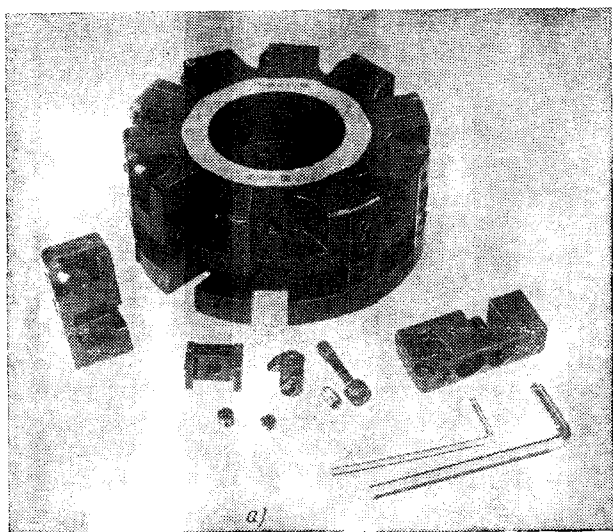


Рис. 2.12. Приспособление для настройки торцового биения ножей регулируемой фрезы вне станка:
1 — опорный фланец; 2 — фреза; 3 — сменная центрирующая втулка; 4 — штифт; 5 — магнитная стойка с микроиндикатором

ется с помощью сухарей 10, 11. Затраты времени на столь точную настройку малого биения, которое обеспечивает высокопроизводительную работу с большими подачами и высоким качеством, составляют не более 1 мин в расчете на каждый зуб фрезы. При этом высокой квалификации оператора не требуется. Преимущество кассетной конструкции фрез перед другими конструкциями состоит также и в том, что один и тот же корпус в за-

Рис. 2.13. Фреза торцовая насадная регулируемая кассетной конструкции с механическим креплением неперетачиваемых прецизионных пластин из композитов 01, 05, 10Д:
а — общий вид; б — конструкция (см. стр. 41)



2.4. Размеры кассетных регулируемых фрез, мм (см. рис. 2.13, б)

Испол- нение	D	D_1	D_2	d	d_1	H	f	f_1	d_2	d_3	b	a	t	z
I	125	130	72	40	56	63	—	—	—	—	$16,4^{+0,11}$	9	66	10
	160	165	92	50	68						$18,4^{+0,13}$	10	92	14
	200	205		18										
II	160	165	92	40	88	66,7	—	14	—	—	$16,4 H12$	9	14	
	200	205		18										
	250	255	160	220	130	—	—	—	—	—	—	155	24	
	315	320	230									30		
	400	405	260	60	300	101,6	—	18	—	—	—	—	220	40
	500	505		400	80								177,8	22
	630	635	260	60	530	101,6	—	18	—	—	—	—	—	60
	800	805			700									80

в зависимости от конкретной задачи может быть оснащен кассетами с пластинами не только из композита, но и из поликристаллических алмазов, твердых сплавов, керамики, что делает данную конструкцию практически универсальной. Основные размеры фрез приведены в табл. 2.4.

Область применения фрез кассетной конструкции — предварительная и окончательная обработка плоских поверхностей взамен твердосплавных фрез и шлифовальных кругов на специальных станках, станках с ЧПУ, автоматических линиях, многоцелевых станках, гибких производственных модулях и системах. Глубина резания — до 6 мм. Продольная подача — до 2,5 м/мин. Параметр шероховатости обработанной поверхности $Ra = 0,4 \dots 2,5$ мкм.

Выпускают торцовые сборные нерегулируемые фрезы диаметром 20—100 мм с механическим креплением прецизионных пластин из композита. Однорядные фрезы — с пластинами из компо-

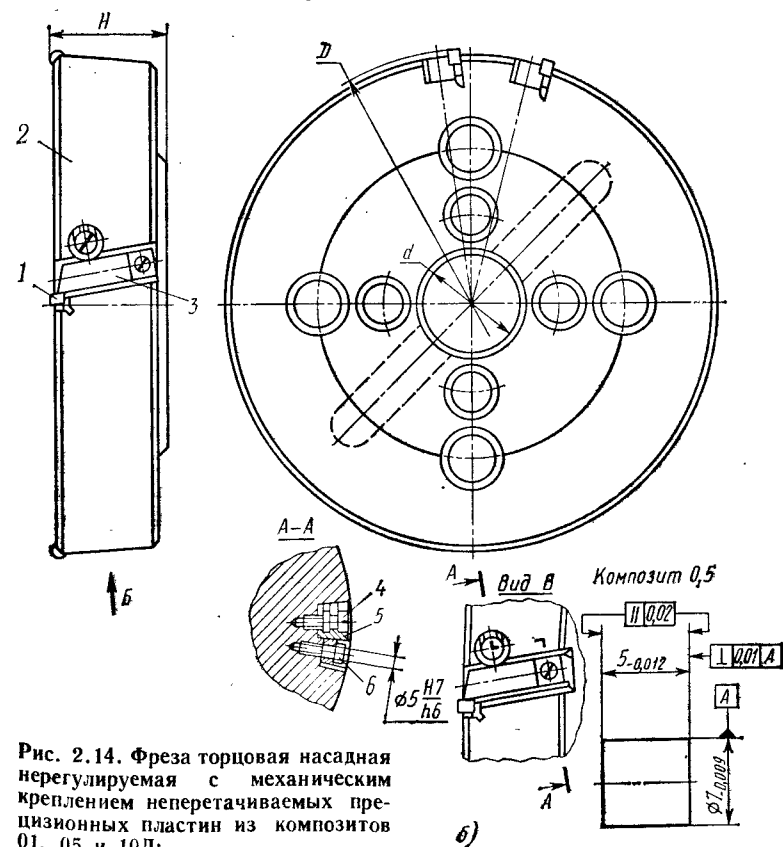
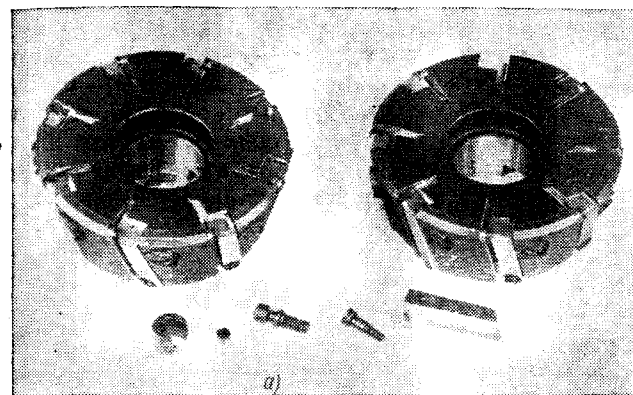


Рис. 2.14. Фреза торцовая насадная нерегулируемая с механическим креплением неперетачиваемых прецизионных пластин из композитов 01, 05 и 10Д:

а — общий вид; б — конструкция; 1 — пластина; 2 — корпус; 3 — качающийся прихват; 4, 6 — винты; 5 — клин

зитов 05 и 10Д (рис. 2.14), ступенчатые — с пластинами из композита 05 (рис. 2.15). Сравнительно небольшое торцовое биение (у однорядных фрез 0,02—0,05 мм, у ступенчатых — 0,04—0,07 мм в зависимости от диаметра) достигается высокой точностью изготовления соответствующих конструктивных элементов и использованием прецизионных пластин. Однорядные фрезы удобны в эксплуатации, особенно на сверлильно-фрезерно-расточных

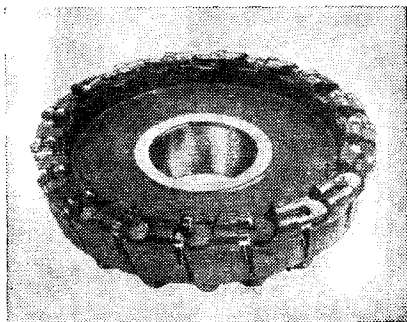


Рис. 2.15. Фреза торцовая насадная ступенчатая нерегулируемая с механическим креплением круглых неперетачиваемых прецизионных пластин из композита 05

станках с ЧПУ (диаметр 80 и 100 мм). Глубина резания однорядными фрезами — до 3 мм, ступенчатыми — до 6 мм. Продольные подачи — не более 0,1 мм/зуб. Параметр шероховатости обработанной поверхности серого чугуна $Ra = 0,8 \dots 6,0$ мкм.

Таким образом, с помощью сборных фрез из композита обеспечиваются тонкая, чистовая, получистовая обработка, а также фрезерование чугунов по корке непосредственно после литья в широком диапазоне глубин резания и подач взамен шлифования и фрезерования твердосплавным инструментом.

Фрезы со вставными ножами менее удобны в эксплуатации, так как для них требуются повторные заточки. Поэтому их применение ограничивается, как правило, обработкой заготовок на шлифовальных станках взамен шлифовальных кругов, когда подачи очень велики (более 1,5—2 м/мин).

На фрезерных и расточных станках при обработке открытых и полузакрытых плоскостей корпусных деталей наиболее целесообразно применять регулируемые фрезы с механическим креплением точных пластин.

Для сокращения рабочего хода фрезы и уменьшения износа пластин из композита ось шпинделя станка следует наклонять на угол до 30' (рис. 2.16).

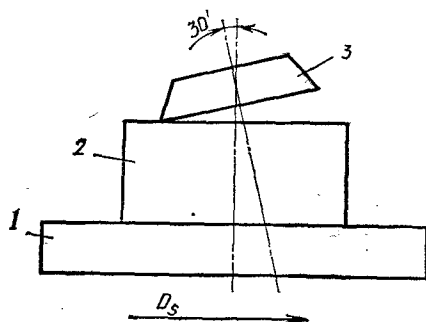


Рис. 2.16. Рекомендуемая схема фрезерования с наклоном шпинделя:

1 — стол станка; 2 — заготовка; 3 — фреза

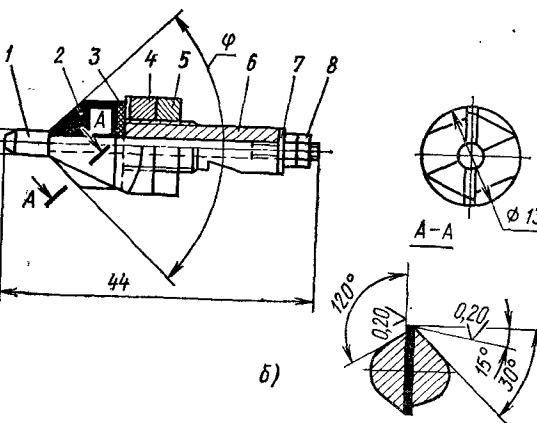
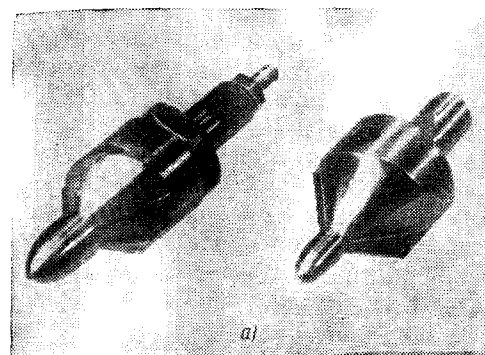


Рис. 2.17. Зенковка с механическим креплением пластин из композита 05: а — общий вид; б — конструкция $d = 3 \dots 6$ мм; Φ равно 90° и 120°; 1 — направляющий штырь; 2 — специальная пятигранная перетачиваемая пластина из композита 05; 3 — демпфирующая шайба; 4 — корпус; 5 — контргайка; 6 — полый винт-хвостовик; 7 — шайба; 8 — гайка

да бора: боразона — фирма «Дженерал Электрик» (США); амборита — фирмы «Де Бирс» (Великобритания); сумиборона — фирма «Сумитомо Электрик» (Япония). Эти режущие элементы используют для производства инструмента многие фирмы в Европе, Америке и Японии. Режущие элементы изготовляют в двух исполнениях: цельные (амборит) и двухслойные (боразон, сумиборон). Преимущество цельных пластин из амборита — удвоенный ресурс работы по сравнению с односторонними двухслойными пластинами, а двухслойных режущих элементов с тонким (около

Создан новый вид инструмента, оснащенного пластинами из композита 05, — зенковки для обработки отверстий в высокоабразивных углепластиках (рис. 2.17). По сравнению с цельными твердосплавными зенковками эти зенковки в 4 раза дороже, однако стойкость их в 20 раз выше. Кроме того, качество обработанной поверхности существенно выше: после обработки 8—10 отверстий твердосплавной зенковкой появляются отслоения углепластика, трещины, увеличивается шероховатость, тогда как после обработки даже 200 отверстий зенковкой с пластинами из композита 05 эти явления отсутствуют.

За рубежом производят режущие элементы из СТМ на основе нитри-

0,5 мм) рабочим слоем из СТМ на твердосплавной подложке — повышенная прочность, обеспечиваемая подложкой. Преимущество двухслойных элементов в основном заключается в простоте и надежности их пайки к корпусу неразъемного перетачиваемого инструмента (припаивается твердый сплав к стали или к твердому сплаву). Поэтому амборит выпускают только в виде цельных круглых и многогранных неперетачиваемых пластин, а боразон и сумиборон — как в виде пластин, так и в виде напайных элементов в форме секторов и сегментов. Двухслойные неперетачиваемые пластины, кроме того, изготовляют как в негативном (без задних углов), так и в позитивном (с задними углами) исполнении. В СССР выпускают алмазные резцы, оснащенные поликристаллами АСПК. Поликристалл запаивают в цилиндрическую или прямоугольную стальную вставку (табл. 2.5), которую затем механически закрепляют в инструменте. Изготавливают токарные проходные, подрезные и расточные резцы, оснащенные такими вставками. Заточенные вставки имеют отрицательные передние углы $-3^\circ \dots -10^\circ$ и радиус при вершине $r = 0,2 \dots 0,6$ мм, однако по заявке заказчика геометрические параметры могут быть изменены (положительный передний угол $0 \dots +10^\circ$; $r = 0,8 \dots 2,0$ мм; выглаживающая фаска на задней поверхности $0,05 \dots 0,10$ мм с $\alpha_f = 0$; фаска при вершине резца шириной $f = 0,3 \dots 1,5$ мм вместо радиуса r и т. п.). Поставляют также незаточенные вставки, если геометрические параметры заточенных вставок не устраивают потребителя. Такие вставки могут использоваться также и для торцовых фрез. Недостатки вставок — низкая прочность закрепления поликристаллов и высокий коэффициент вариации стойкости — объясняются свойствами АСПК: плохой смачиваемостью припоями, наличием центрального металлического стержня и большого количества примесей. Выпускаются также вставки, оснащенные поликристаллами АСБ, аналогичной номенклатуры. Однако в режущих инструментах чаще применяют вставки с АСПК.

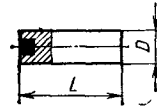
В табл. 2.6 приведены основные характеристики поликристаллов синтетических алмазов, выпускаемых в СССР, для изготовления режущего инструмента.

Дальнейшее развитие алмазные режущие инструменты получили на основе использования двухслойных элементов различных форм и размеров с рабочим слоем из спеченных зерен синтетических алмазов на подложке из твердого сплава. Толщина алмазного слоя 0,5—0,8 мм. Преимущества двухслойных элементов перед поликристаллами АСПК и АСБ весьма существенны: изотропия свойств, повышенная прочность, стабильность эксплуатационных показателей, простота и надежность их пайки к корпусу инструмента благодаря твердосплавной подложке. Конструирование инструментов на базе таких элементов идет по двум направлениям:

2.5. Вставки резцовые, оснащенные поликристаллами синтетического алмаза АСПК

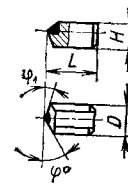
Размеры и геометрические параметры						Размеры и геометрические параметры					
D	H	L	h	φ	φ_1	D	H	L	h	φ	φ_1
мм						мм					

Незаточенные вставки



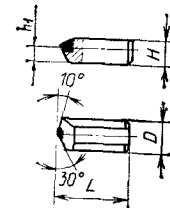
8	—	25	—	—	—
10	—	35	—	—	—
12	—	40	—	—	—
16	—	50	—	—	—

Цилиндрические вставки



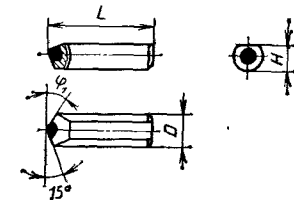
7	5,9	18	—	45	15
7	5,9	18	—	15	45
7	5,9	12	—	30	15
7	5,9	12	—	45	15
7	5,9	12	—	50	50
7	5,9	15	—	15	45
7	5,9	15	—	45	15
8	6,4	20	—	15	45
8	6,4	20	—	45	15
8	6,4	25	—	15	45
8	6,4	25	—	45	15
8	6,4	30	—	15	45
8	6,4	30	—	45	15
9	6,9	15	—	30	15
9	6,9	15	—	45	15
9	6,9	15	—	50	50
10	7,4	15	—	30	15
10	7,4	15	—	45	15
10	7,4	15	—	50	50
12	8,4	20	—	30	15
12	8,4	20	—	45	15
12	8,4	20	—	50	50
16	10,4	20	—	30	15
16	10,4	20	—	45	15
16	10,4	20	—	50	50

Цилиндрические вставки к фасочным резцам



8	6,7	12	5,0	—	—
9	7,2	15	5,5	—	—
10	7,7	15	6,0	—	—

Цилиндрические вставки для прямого крепления в державках и оправках

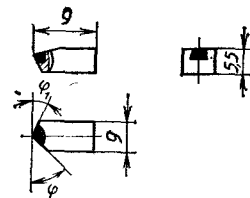


7	5,9	18	—	30	—
8	6,4	25	—	30	—
8	6,4	35	—	30	—
10	7,4	40	—	30	—
12	8,4	60	—	30	—
16	10,4	80	—	30	—
7	5,9	18	—	45	—
8	6,4	25	—	45	—
8	6,4	35	—	45	—
10	7,4	40	—	45	—
12	8,4	60	—	45	—
16	10,4	80	—	45	—

Продолжение табл. 2,5

Размеры и геометрические параметры						Размеры и геометрические параметры					
D	H	L	h	φ	φ ₁	D	H	L	h	φ	φ ₁
мм						мм					

Прямоугольные вставки



—	—	—	—	45	15	—	—	—	—	15	30
—	—	—	—	15	45	—	—	—	—	50	50
—	—	—	—	30	15	—	—	—	—	45	45

2.6. Основные характеристики поликристаллов синтетических алмазов для режущего инструмента

Марка поликристалла	Микротвердость HV, ГПа	Предел прочности при сжатии, МПа	Модуль упругости, ГПа	Термостойкость, °С	Форма, размеры поликристаллов (диаметр X высота), мм
АСБ-1; АСБ-5;	90—	400—800	850	700	Сфера, полусфера, цилиндр, (5—6) X (2,5—6,5)
АСБ-6; АСБ-Р	100	—	—	—	—
АСПК; АСПВ	100	400—800	850	700—900	Цилиндр, (4—4,5) X (4—5)
СВ; СВС; СВАБ	100	5000	850	700	Цилиндр, 4 X 4
СКМ	100	5000	850	700	Цилиндр, (3—8) X (3—5)
АМК	78—80	4500—5000	—	850—900	Цилиндр, (3—6) X (1,5—4)
АМК-Т	82—86	5000—5500	—	750	Цилиндр, (3—6) X (1,5—4)
ДАП; ДИАМЕТ (двухслойные пластины)	100	8000	—	700	Диск, (5—14) X (3—6)
АМК-25; АМК-27 (двухслойные пластины)	75—84	5000	—	650—700	Цилиндр, (3—8) X (1—5)

напайные инструменты, затачиваемые и повторно затачиваемые по мере затупления;

инструменты с механическим креплением многогранных режущих пластин.

Напайные инструменты, т. е. инструменты, у которых двухслойные элементы припаивают непосредственно к корпусу (резцы, фрезы, сверла, развертки и т. п.), изготовляют в тех случаях, когда создать подобные инструменты с механическим креплением пластин технически невозможно. Заточка и повторные заточки этих инструментов не только трудоемки, но, что самое главное, требуют специальных заточных станков высокой жесткости и специальных кругов.

Механически закрепляемые многогранные режущие пластины изготовляют в двух существенно различающихся исполнениях:

1) пластины, состоящие из корпуса, выполненного из конструкционного материала (твердого сплава, легированной инструментальной или быстрорежущей стали), и запаянного в одну из вершин двухслойного режущего элемента (табл. 2.7);

2) двухслойные круглые и многогранные повторно не затачиваемые пластины со сплошным алмазным рабочим слоем на твердосплавной подложке (табл. 2.8); такие пластины могут быть и цельными, без подложки.

Первые имеют форму и размеры стандартных твердосплавных пластин, в том числе с центральным отверстием, и поэтому могут быть использованы во всех существующих конструкциях инструментов с механическим креплением пластин. Однако эти пластины с одной режущей кромкой для восстановления режущих свойств нужно повторно затачивать, что крайне затруднительно для потребителей в силу вышеуказанных причин. Практика показывает, что их повторные заточки целесообразны только при достаточно большом количестве используемых инструментов. Единственно правильный подход к эксплуатации алмазного напайного инструмента — это организация централизованной повторной заточки на заводе-изготовителе.

Двухслойные круглые и многогранные пластины не нуждаются в повторных заточках, что чрезвычайно упрощает эксплуатацию алмазных инструментов (это становится почти столь же просто, как обслуживание обычного твердосплавного инструмента), однако из-за сравнительно малых размеров (табл. 2.8) для них нередко требуются специальные державки. Разовое изготовление державки проще и доступнее, чем постоянные повторные заточки алмазных инструментов. Вследствие этого такое направление дальнейшего развития алмазных пластин наиболее перспективно.

Конструкции резцов и кассетных регулируемых торцовых фрез с механическим креплением пластин из синтетических алмазов степени точности U, M, G и H аналогичны конструкциям инструментов из СТМ на основе нитрида бора.

2.7. Пластины сменные многогранные, оснащенные СВБН (ТУ 19-4206-113-80)

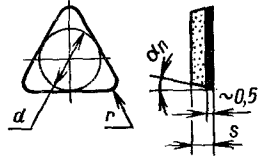
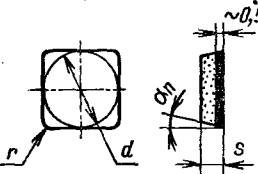
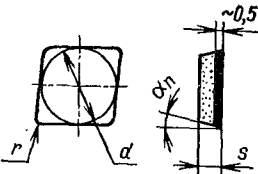
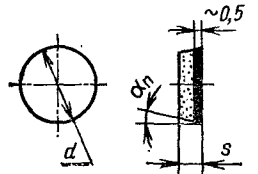
Обозначение пластины класса точности U		Размеры, мм					
		d	s	r	t	$\alpha, ^\circ$	H*
01111-090204	TNUN-090204	5,556	2,38	0,4	7,937	0	1,8
01111-090208	TNUN-090208			0,8	7,540		
01111-090212	TNUN-090212			1,2	7,143		
01111-090220	TNUN-090220			2,0	6,350	11	
01311-090204	TPUN-090204			0,4	7,937		
01311-090208	TPUN-090208			0,8	7,540		
01311-090212	TPUN-090212			1,2	7,143	18	
01311-090220	TPUN-090220			2,0	6,350		
01411-090204	TEUN-090204			0,4	7,937		
01411-090208	TEUN-090208			0,8	7,540	0	
01411-090212	TEUN-090212			1,2	7,143		
01411-090220	TEUN-090220			2,0	6,350		
01111-110208	TNUN-110208	6,350	2,38	0,8	8,731	0	1,8
01111-110212	TNUN-110212			1,2	8,334		
01111-110220	TNUN-110220			2,0	7,541		
01111-110312	TNUN-110312	—	3,18	1,2	8,334	11	1,8
01311-110208	TPUN-110208	6,350	2,38	0,8	8,731		
01311-110212	TPUN-110212			1,2	8,334		
01311-110220	TPUN-110220			2,0	7,541	18	
01411-110208	TEUN-110208	6,350	2,38	0,8	8,731		
01411-110212	TEUN-110212			1,2	8,334		
01411-110220	TEUN-110220			2,0	7,541		
01111-160308	TNUN-160308	9,525	3,18	0,8	13,494	0	2,0
01111-160312	TNUN-160312			1,2	13,097		
01111-160308	TPUN-160308			0,8	13,494	11	
01311-160312	TPUN-160312			1,2	13,097		
01411-160308	TEUN-160308			0,8	13,494	18	
01411-160312	TEUN-160312			1,2	13,097		

Продолжение табл. 2.7

Обозначение пластины класса точности U	Размеры, мм									
	d	s	r	t	$\alpha, ^\circ$	H*				
03111-060204	SNUN-060204	6,350	2,38	0,4	1,150	0	1,8			
03111-060208	SNUN-060208			0,8	0,986					
03111-060212	SNUN-060212			1,2	0,821					
03111-060220	SNUN-060220			2,0	0,493	11				
03311-060204	SPUN-060204			0,4	1,150					
03311-060208	SPUN-060208			0,8	0,986					
03311-060212	SPUN-060212			1,2	0,821	18				
03311-060220	SPUN-060220			2,0	0,493					
03411-060204	SEUN-060204			0,4	1,150			0		
03411-060208	SEUN-060208			0,8	0,986					
03411-060212	SEUN-060212			1,2	0,821					
03411-060220	SEUN-060220			2,0	0,493	11				
03111-090308	SNUN-090308	9,525	3,18	0,8	1,644					
03111-090312	SNUN-090312			1,2	1,479					
03111-090320	SNUN-090320			2,0	1,150	0				
03311-090308	SPUN-090308			0,8	1,644					
03311-090312	SPUN-090312			1,2	1,479					
03311-090320	SPUN-090320			2,0	1,150	11				
03411-090308	SEUN-090308			0,8	1,644					
03411-090312	SEUN-090312			1,2	1,479					
03411-090320	SEUN-090320			2,0	1,150	18				
03111-120308	SNUN-120308			12,700	3,18		0,8	2,301	0	2,0
03111-120312	SNUN-120312						1,2	2,137		
03311-120308	SPUN-120308					0,8	2,301	11		
03311-120312	SPUN-120312	1,2	2,137							
03411-120308	SEUN-120308	0,8	2,301			18				
03411-120312	SEUN-120312	1,2	2,137							

* Размеры для справок.

2.8. Многогранные повторно заточиваемые алмазные пластины степени точности U, M и G для резцов

Форма пластины, эскиз	d, мм	s, мм	r, мм	$\alpha_n, ^\circ$
Правильная трехгранная 	3,97	1,59	0,2; 0,4; 0,8; 1,2; 2,0	0; 7; 11; 18 (20)
	4,76	2,38	0,2; 0,4; 0,8; 1,2	0; 7; 11; 18 (20)
Квадратная 	4,76	1,59	0,2; 0,4; 0,8	0; 7; 11; 18 (20)
	5,56	2,38	0,2; 0,4; 0,8; 1,2	0; 7; 11; 18 (20)
Ромбическая (80°) 	4,76	1,59	0,2; 0,4; 0,8	0; 7; 11; 18 (20)
	5,56	2,38	0,2; 0,4; 0,8; 1,2	0; 7; 11; 18 (20)
Круглая 	5,56	1,59	—	0; 7; 11; 18 (20)
	6,35	2,38	—	0; 7; 11; 18 (20)
	8,00	2,38	—	0; 7; 11; 18 (20)

Режущие инструменты, оснащенные поликристаллическими синтетическими алмазами, так же как и инструменты из нитрида бора, изготавливают многие зарубежные фирмы, а двухслойные элементы из спеченного слоя алмазов на твердосплавной подложке производят лишь несколько крупных фирм.

Двухслойные режущие элементы в виде секторов, сегментов и круглых заготовок припаивают к корпусу инструмента припоем на основе серебра, а затем затачивают на специальных станках специальными алмазными кругами с обильным охлаждением.

Рабочие поверхности инструмента окончательно доводят и полируют.

Как правило, учитывая сложность повторных заточек алмазных резцов и пластин, эти операции выполняет изготовитель инструментов в ходе эксплуатации до полного изнашивания, причем стоимость повторных заточек нередко входит в первоначальную стоимость инструмента.

В целом номенклатура инструментов, оснащенных поликристаллическими алмазами, аналогична номенклатуре инструментов из СТМ на основе нитрида бора.

Изготовители не ограничивают свою номенклатуру и предлагают любые инструменты по заказам, в том числе фасонные точные резцы для обработки канавок различной конфигурации.

С целью увеличения прочности пайки алмазных режущих элементов фирма «Де Бирс» начала выпускать заготовки в виде плоских шайб (рис. 2.18) с $D = 15,88$ мм и $s = 1,6$ или $s = 3,18$ мм, в которых алмазный слой окружен твердым сплавом. После разрезки получаются секторы с опорной и боковой цилиндрической стенками из твердого сплава, что увеличивает на 60—70 % площадь под пайку и число повторных заточек инструмента (практически до полного изнашивания всего алмазного слоя).

Широкая номенклатура режущих инструментов из СТМ позволяет создавать комплексные технологические процессы изготовления деталей с преимущественным использованием этих высокопроизводительных и износостойких инструментов, что особенно важно в автоматизированном производстве.

2.2. Режущие инструменты с пластинами из керамики

СССР в конце сороковых годов начал промышленное производство пластин из керамики монокорунд Т48 и оксидной керамики микролит ЦМ-332 для лезвийных режущих инструментов.

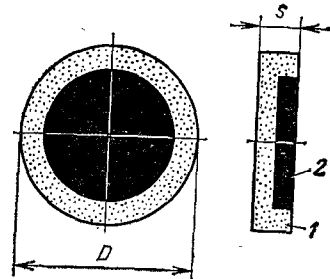


Рис. 2.18. Двухслойные заготовки для напайного инструмента:
1 — твердый сплав; 2 — алмазный рабочий слой

2.9. Предельные отклонения основных параметров режущих пластин

Контролируемый параметр	Предельные отклонения для пластин классов	
	У	Г
Диаметр вписанной окружности d : до 9,525 св. 9,525 до 12,700 св. 12,700 до 19,050	$\pm 0,080$ $\pm 0,130$ $\pm 0,180$	$\pm 0,025$
Диаметр круглых пластин d	—	$-0,025$
Толщина s	$\pm 0,13$	$\pm 0,13$
Размер m при d : до 9,525 св. 9,525 до 12,700 св. 12,700 до 19,050	$\pm 0,130$ $\pm 0,200$ $\pm 0,270$	$\pm 0,025$
Радиус прв вершине r	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$
Угол при вершине, °	± 30	± 5
Отклонение от параллельности опорных поверхностей	0,025	0,025
Отклонение от перпендикулярности задних поверхностей к опорной	± 30	± 15
Отклонение от плоскостности опорной поверхности: выпуклость вогнутость	0,005 0,015	0,005 0,015
Отклонение от плоскостности задних поверхностей: выпуклость вогнутость	0,025 0,050	0,010 0,010
Ширина фаски f	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$
Угол наклона фаски, °	± 2	± 2

Примечание. Линейные размеры — в мм.

2.10. Геометрические параметры режущих пластин из керамики

Ширина фаски f		γ_{ϕ}	
Размер, мм	Шифр цифровой	Значение, °	Шифр цифровой
0,2	1	10	1
0,4	2	15	2
0,6	3	20	3
0,8	4	30	4

2.11. Допустимые зоны выкрашиваний на режущих пластинах

Зоны выкрашиваний	Размеры (мм) зоны выкрашивания (глубина \times протяженность) при длине режущей кромки пластин, мм	
	До 16	Св. 16
A	0,10 \times 0,20	0,10 \times 0,20
B	0,15 \times 0,25	0,15 \times 0,25
C	—	0,20 \times 0,30

Пластины выпускали как для механического крепления в резцах и фрезах, так и для напайки. В настоящее время материалы керамические инструментальные производят по ГОСТ 26630—85, ТУ 2-036-942—84 и другой документации. Форма и размеры пластин из керамики должны соответствовать установленной ГОСТ 25003—81 отраслевой технической документации, разработанной предприятиями Минцветмета, Минстанкопрома.

Отечественные предприятия выпускают для оснащения режущего инструмента пластины из оксидной, оксидно-карбидной и нитридной керамики. Пластины выпускают двух классов точности: У — шлифование по опорным и задним поверхностям; Г — шлифование по опорным и задним поверхностям с более жесткими допусками (табл. 2.9). Предельные отклонения контролируемых параметров пластин должны соответствовать указанным в табл. 2.9. Сопряжение режущих кромок и радиуса при вершине должно быть плавным. Пластины выпускают с фасками шириной $f = 0,2$ мм и углом наклона фаски $\gamma_{\phi} = 20^\circ$ по всему периметру с двух сторон (для двусторонних негативных пластин). По требованию заказчика допускается изготовление пластин с геометрическими параметрами фасок, указанными в табл. 2.10.

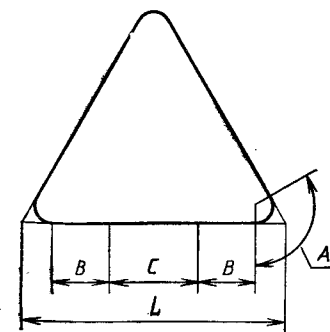


Рис. 2.19. Расположение и размеры допустимых зон выкрашивания на режущих пластинах из керамики

Параметры шероховатости пластин не должны превышать: у задних опорных поверхностей $Ra = 0,32$ мкм; у фасок режущих кромок $Ra = 0,63$ мкм. На поверхностях пластин не должно быть трещин, сколов и налипаний.

Выкрашивания на режущих кромках различаются в зависимости от классов исполнения по величине и расположению на

режущей кромке. В ГОСТ 25003—81 предусмотрены допустимые зоны расположения выкрашиваний (рис. 2.19).

Для пластин класса G на режущих кромках на расстоянии до 3 мм от вершины не должно быть выкрашиваний глубиной более 0,05 мм и протяженностью более 0,10 мм. На остальных частях режущих кромок пластин класса G не должно быть выкрашиваний глубиной более 0,10 мм и протяженностью более 0,20 мм.

На режущей кромке пластин круглой формы класса G не должно быть выкрашиваний глубиной более 0,10 мм и протяженностью более 0,2 на расстоянии не менее 4 мм. Для пластин класса U размеры зон выкрашиваний на режущих кромках не должны превышать значений, указанных в табл. 2.11.

Общее число выкрашиваний на всех режущих кромках с каждой стороны пластины должно быть не более трех, в том числе на радиусах при вершине — не более одного.

Приемочный контроль пластин из керамики на заводе-изготовителе осуществляется в соответствии с ГОСТ 4872—75 и ГОСТ 18242—72. Партия должна состоять из пластин одинаковых формы, размеров и марки керамики, одновременно предъявляемых к приемке по одному документу. Установлен следующий приемочный уровень качества: критические дефекты всех классов не допускаются; малозначительные дефекты для пластин класса G — 2,5 %, пластин класса U — 4 %.

К критическим дефектам относятся трещины, сколы, налипания, выкрашивания и т. п. Методы проверки и контроля линейных и угловых размеров пластин из твердого сплава и керамики сходны (см. ГОСТ 25003—81).

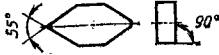
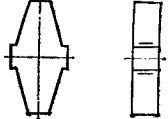
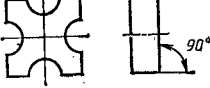
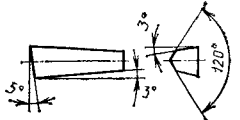
Маркируют пластины, нанося круг диаметром не более 3 мм красного цвета (пластины из ВОК-60) или белого цвета (пластины из В-3). Пластины упаковывают в специальные пластмассовые футлярчики с индивидуальными ячейками для каждой пластины. Всего в одном футлярчике не более 10 пластин. Пластины с габаритными размерами 16×16 мм и более можно упаковывать в целлофан по ГОСТ 7730—74 или другие полимерные пленки.

В групповую тару, отправляемую заказчику, завод-изготовитель вкладывает паспорт на пластины, в котором указаны: количество пластин и их масса; результаты испытаний; наименование предприятия-изготовителя; марки керамики; обозначение пластин по ГОСТ; номер партии и дата выпуска.

Завод — изготовитель пластин гарантирует соответствие пластин требованиям ГОСТ 25003—81 и стойкость их в соответствии с требованиями технической документации, утвержденной в установленном порядке.

Исследования термоциклической прочности (стойкости) пластин керамики ВОК-60, ВОК-63, В-3 и ЦМ-332 проводили при $T = 700 \dots 1100 \text{ }^\circ\text{C}$, причем пластины выдерживали в зоне на-

2.12. Номенклатура специальных режущих пластин из керамики отечественного производства

Эскиз пластины	Марка керамики			Эскиз пластины	Марка керамики		
	ВО-13	ВОК-60	ОНТ-20		ВО-13	ВОК-60	ОНТ-20
	-	+	+		-	-	+
	-	+	+		+	+	+

грева в течение 10 мин и затем охлаждали сжатым воздухом под давлением 405 кПа.

Установлено, что пластины из ВОК-60 и ВОК-63 выдерживали 110 циклов нагрева до 700 °С и появления на их поверхности трещин, а пластины В-3 и ЦМ-332 — 55 циклов. Специально подготовленные образцы из керамики испытывали на циклическую прочность при $T = 20 \dots 1000 \text{ }^\circ\text{C}$. Сила удара составляла 700 Н при частоте нагружения 50 Гц. Испытания показали, что циклическая прочность керамики при $T \leq 600 \text{ }^\circ\text{C}$ примерно в 15 раз меньше циклической прочности твердых сплавов. Наибольшую циклическую прочность показала керамика ВОК-63, наименьшую — керамика В-3.

Установлена зависимость стойкости керамики от ее плотности. Опыты проводили при фрезеровании серого чугуна СЧ 20 однозубой фрезой диаметром 250 мм с механическим креплением квадратных пластин из ВОК-60. При $v = 450 \text{ м/мин}$ $S_z = 0,40 \text{ мм/зуб}$ и $t = 1 \text{ мм}$. После 2000 м пути резания у пластин плотностью $\gamma = 4,08 \text{ г/см}^3$ износ $h_s = 0,7 \text{ мм}$, а у пластин плотностью $\gamma = 4,22 \text{ г/см}^3$ $h_s = 0,35 \text{ мм}$ при прочих равных условиях.

Учитывая потребность в специальных инструментах, отечественная промышленность осваивает производство пластин специальных форм и размеров из керамики различных марок, в частности для нарезания ручьевых канавок шкивов и др. (табл. 2.12).

За рубежом выпускают режущие пластины из керамики как стандартного, так и специального исполнения.

Пластины ДИСАЛ 100 (ЧССР) изготовляют трехгранной, квадратной, круглой и ромбических форм, класса G в основном толщиной 8 мм. В перспективе в ЧССР планируют значительно увеличить типы и номенклатуру пластин, в первую очередь из полусмешанной керамики ДИСАЛ 200 и смешанной — ДИСАЛ 300.

Производят специальные ромбические ($\epsilon = 55^\circ$) пластины со скошенными сторонами, пятигранные пластины с задними углами, пластины для точения наружных галтелей, радиусов и т. п.

Выпускают пластины для отрезания, прорезания прямых и трапецидальных канавок. Для специальных пластин указанных форм и размеров изготовляются резцовые державки и корпуса фрез.

Для точения прокатных валков и т. п. в Японии выпускают специальные круглые пластины с центральной нижней цилиндрической выступающей частью, которая помещается в отверстие гнезда державки, чем увеличивается надежность закрепления пластины. Этим предотвращается ее перемещение под действием сил резания.

Фирма «Кеннаметал» (США) разработала керамический материал и режущие сменные пластины из него под названием КИОН 2000 на основе кремния, алюминия, кислорода и азота. Материал имеет высокие стойкость к термоударам и вязкость.

По термоударной стойкости КИОН 2000 соответствует оксидной керамике, а вязкость его близка к вязкости твердых сплавов с износостойкими покрытиями оксидом алюминия.

Фирма «Хертель» (ФРГ) изготовляет 17 типов пластин 98 форморазмеров из оксидной (АС5) и 49 форморазмеров из оксидно-карбидной (МС2) керамики. Фирма «Ниппон техникал керамик» выпускает 26 типов и 219 форморазмеров пластин из керамики СХ-3 и НС-2.

Фирмы «Хертель», «Ниппон техникал керамик» и некоторые другие выпускают пластины без отверстия и с центральным цилиндрическим отверстием, что позволяет применять эти пластины в конструкциях резцов и фрез типа С и Р, т. е. с креплением прихватом (С) и качающимся штифтом, рычагом и т. п. (тип Р).

Выпускают пластины с задними углами $\alpha = 7^\circ$ и $\alpha = 11^\circ$, например трехгранные и квадратные для обработки деталей малой жесткости, обработки отверстий, пазов. Изготавливают пластины с длиной режущей кромки L , равной 6; 9 и 11 мм и толщиной s , равной 1,59; 2,38 и 3,18 мм, с задними углами α , равными 5 и 11° . Это позволяет создавать инструменты с механическим креплением пластин для обработки отверстий диаметром 10—34 мм, концевые инструменты для обработки пазов и т. п.

Зарубежные фирмы производят пластины для отрезных и канавочных резцов, точения радиусных фасок, нарезания трапецидальных канавок и клиновых ручьев на шкивах, снятия радиусных кромок на трубах и т. д.

Для фрезерования выпускают пластины НС2 квадратной формы с режущей кромкой радиусом $r = 114,3$ мм ($4,5''$), $K_{т.р} = 3,2 \cdot 10^{-6} 1^\circ/\text{C}$. При температуре 400°C у КИОН 2000 твердость HV 16 000, а при 1000°C твердость несколько снижается, но остается достаточно высокой: HV 13 000. Нитридную керамику «Квантум 5000» получают горячим прессованием. Основой ее являются порошок нитрида кремния (92 %), оксиды иттрия (6 %) и алюминия (2 %). «Квантум 5000» состоит на 70 % из указанного выше нитрида кремния, легированного оксидами иттрия и алюминия, и на 30 % — из карбида титана, который вводят для обеспечения высокой твердости и сопротивления абразивному износу. Ударная вязкость керамики «Квантум 5000» высока: $a_k = 4,3$, в то время как у холоднопрессованной чисто оксидной керамики Al_2O_3 , $a_k = 2,2 \dots 2,5$; у смешанной горячепрессованной ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$) $a_k = 3,1 \dots 3,5$, а у силана $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Al}_2\text{O}_3$, $a_k = 3,8 \dots 4,0$.

При испытании на ударную вязкость пластины из керамики «Квантум 5000» остались без изменений, а четыре (из пяти пластин горячепрессованной смешанной керамики) разрушились.

Пластины из нитридной керамики S-8 получают горячим прессованием и распиловкой с последующим шлифованием граней. Кроме нитрида кремния, в исходный материал добавляют оксиды иттрия и алюминия. У пластин из S-8 твердость HRA 89—91, прочность на поперечный излом составляет 843,7—914 МПа. Процесс изготовления керамики строго контролируется на всех этапах, особенно ее мелкозернистость.

Фирма «Валенайт» выпускает пластины из керамики V-32. Их изготовляют за одну операцию: нагревают до необходимой температуры спекания при высоком давлении. Предел прочности на изгиб (относительно трех точек) составляет 840 МПа. Эти пластины предназначены для наружного точения изношенных прокатных валков, которые имеют поверхностный слой, упрочненный до HRC 62, с трещинами, сколами и включениями, что приводит к прерывистому характеру резания. Такие валки обрабатывают при $v = 33$ м/мин и $S = 0,20$ мм/об. Валки твердостью HRC 34—39 обрабатывают при $v = 80 \dots 120$ м/мин и $S = 0,15$ мм/об.

Фирма «Валенайт» выпускает большие пластины: круглые — диаметром 31,6 мм; прямоугольные — размером $38,1 \times 19,05 \times 12,7$ мм; прямоугольные со скошенными режущими кромками у вершин (по диагонали друг к другу) — размером $38,1 \times 19,05 \times 12,7$ мм; квадратные со скругленными по радиусу режущими кромками и с диаметром вписанной окружности 38,1 мм.

Эта фирма изготовляет пластины из холоднопрессованной керамики V-44, которые характеризуются стойкостью, повышенной на 25 % по сравнению со стойкостью обычных пластин холодного прессования и высоким сопротивлением поперечному разрушению.

Толщина этих пластин $s = 8$ мм, что обеспечивает их высокую прочность.

Керамика V-44 рекомендуется для черновой и чистовой обработки чугуна, углеродистых и легированных сталей, отожженных и отпущенных инструментальных и штамповых сталей, ферритных и мартенситных коррозионно-стойких сталей.

В настоящее время в нашей стране разработаны и выпускаются инструментальными заводами Минстанкопрома резцы, токарные фрезы и расточные головки, конструкции которых унифицированы с конструкциями инструментов с пластинами без отверстий из твердых сплавов [1].

Резцы. За основу конструктивного решения узла крепления пластин в резцах принята конструкция, широко апробированная на Волжском автомобильном заводе (ГОСТ 26611—85, ГОСТ 26612—85).

Режущая пластина базируется на боковые поверхности глухого (карманного) гнезда державки и прижимается к опорной поверхности

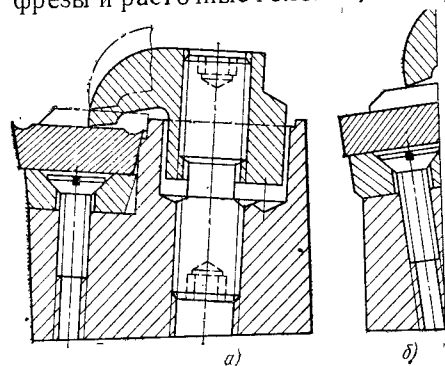


Рис. 2.20. Узел крепления резцов с пластинами, имеющими задние углы (а) и не имеющими задних углов (б)

прихватом сверху (рис. 2.20). По кодификации ISO и ГОСТ 26496—85 этот тип крепления относится к группе С.

Выпускают резцы в двух исполнениях: C_1 — для пластин с задними углами (рис. 2.20, а), C_3 — для пластин без задних углов (рис. 2.20, б).

Для резцов с пластинами из керамики, которые в основном выпускаются без задних углов, применяется исполнение C_3 . Опорная пластина крепится винтом к гнезду державки, в которой имеется резьбовое отверстие. Для быстрой смены крепления пластины используется винт с двумя разнонаправленными резьбами. По правой нарезке винт ввертывается в державку, а по левой — соединяется с прихватом. Для пластин с плоской передней поверхностью для завивания и дробления стружки применяют накладные стружколомы из твердого сплава ВК8 по ГОСТ 19084—80 и ГОСТ 19085—80. Применяют также стружколомы другой формы и из других инструментальных материалов, например безвольфрамовых твердых сплавов. Накладные стружколомы при обработке стали эффективно работают при продольной подаче $S = 0,25 \dots 0,80$ мм/об. В зоне малых подач следует работать с большими скоростями резания, что способствует эффективному стружкодроблению.

Для предохранения гнезда державки при поломке режущей пластины ее размещают на 0,1—0,2 мм выше опорной пластины, которая, в свою очередь, выступает на 0,5—0,8 мм над гнездом державки.

В резцах исполнения C_2 применяют негативные пластины, а задние углы α и α_1 , угол режущей кромки λ и передний угол γ

получают благодаря выполнению опорной поверхности гнезда державки наклонной. Угол наклона поверхности задают в плоскости, проходящей через вершину пластины под определенными углами к боковым и опорной поверхностям державки (рис. 2.21).

У токарных расточных резцов, выполненных в соответствии с требованиями ISO 5609.2, державка круглого сечения. Разработаны резцы с одной верхней лыской или с тремя лысками на державке (рис. 2.22).

Принципиальное конструктивное решение узла крепления токарных расточных резцов то же, что и у резцов для наружной обработки. Для того чтобы можно было растачивать отверстия малого диаметра, пре-

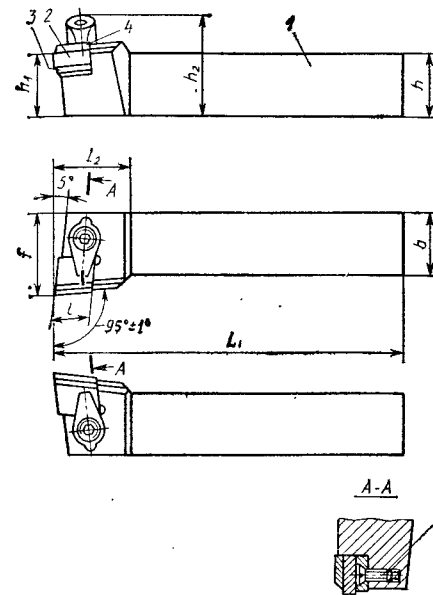


Рис. 2.21. Резец с механическим креплением ромбической пластины из керамики; 1 — державка; 2 — опорная пластина; 3 — режущая пластина; 4 — стружколом; 5 — винт

дусматривают исполнение резцов без опорной пластины и с винтом с однонаправленной резьбой см. рис. 2.22.

Расточные резцы с пластинами из керамики выпускают с креплением последних как непосредственно в резцедержателе станка, так и через разрезные пружинящие втулки-оправки.

Разработанные ВНИИинструмент конструкции токарных резцов с механическим креплением пластин прихватом включают 26 типов от 12×12 до 40×40 мм в соответствии с ГОСТ 26611—85 и ГОСТ 26612—85. Для станков с ЧПУ инструментальные заводы централизованно выпускают резцы с квадратным сечением профиля державки. Для трехгранных пластин предусмотрено, например, пять типов державок: $\varphi = 93^\circ$ (отогнутые), $\varphi = 90^\circ$ (прямые и отогнутые), $\varphi = 60^\circ$ (отогнутые) и $\varphi = 90^\circ$ (отогнутые торцовые), что обеспечивает широкие возможности применения резцов.

Разработанная номенклатура типоразмеров резцов высокоэффективна на пооперационной технологии, что показал опыт ВАЗа и других предприятий автотракторостроения. Керамические пластины с цилиндрическим отверстием закрепляют L-образным рычагом с базированием в гнездо державки (рис. 2.23).

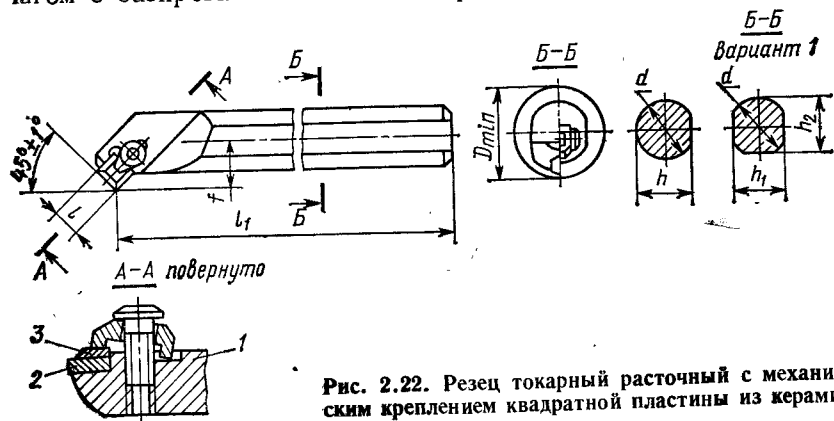


Рис. 2.22. Резец токарный расточный с механическим креплением квадратной пластины из керамики

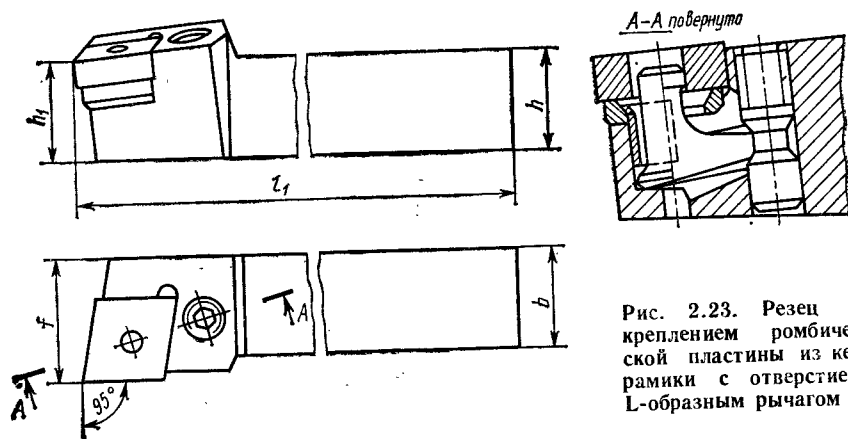


Рис. 2.23. Резец с креплением ромбической пластины из керамики с отверстием L-образным рычагом

Техническая документация на резцы предусматривает изготовление надежного, высокоточного инструмента, обеспечивающего возможность использования до 100—150 пластин на одну державку. Основные точностные параметры резцов в сборе соответствуют требованиям ISO 5610. Допуск размера, например высота вершины резца до опорной поверхности h_1 , должен соответствовать $j_s 14$. Точность резьбовых соединений узла крепления режущей пластины $6g/6h$.

Державки резцов изготавливают из легированных сталей, имеющих физико-механические свойства, не худшие, чем у стали 40Х, или более высокие; гнезда державки термообработывают до получения твердости HRC 45—50, а хвостовую часть державки — до HRC ≥ 45 .

Резцы поставляют потребителю в комплекте с 20, 30, 40 или 50 режущими пластинами, стружколомами, запасным винтом с разнонаправленной резьбой и ключом. Все основные технические требования к резцам с механическим креплением приведены в ГОСТ 26615—85.

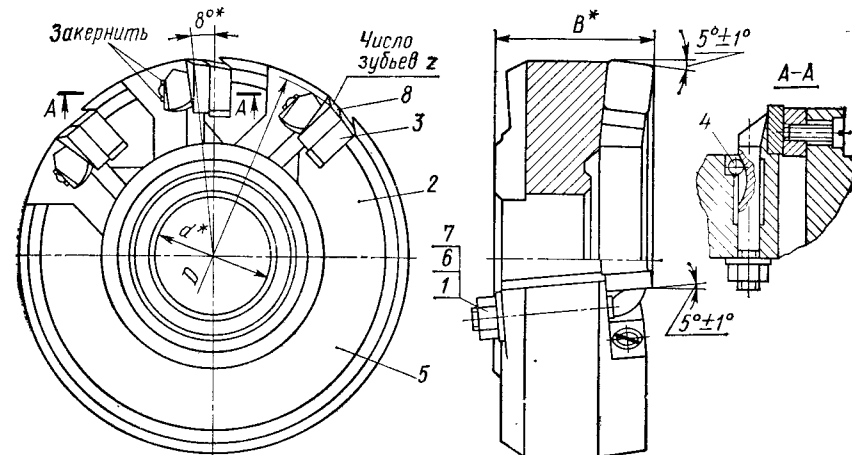


Рис. 2.24. Фреза торцовая с механическим креплением квадратных пластин из керамики:

1 — винт (клин-прихват); 2 — корпус; 3 — опорная пластина; 4 — шарик; 5 — винт; 6 — гайка; 7 — шайба; 8 — режущая пластина

Фрезы. Разработаны и освоены в производстве торцовые насадные фрезы диаметром 100, 125, 160 и 200 мм с квадратными пластинами из керамики соответственно с числом зубьев z , равным 8, 10, 12 и 16. Квадратную пластину крепят прихватом посредством шарика и радиусной выкружки на прихвате. Режущую пластину помещают на твердосплавную опорную пластину, которую фиксируют в корпусе фрезы винтом. Конструкция узла крепления проста и надежна и отличается сравнительно невысокой трудоемкостью (рис. 2.24).

Торцовое биение режущих кромок пластин относительно опорного торца должно быть не более 0,06 мм. Радиальное биение режущих кромок пластин должно быть не более 0,08 мм.

Расточные головки. Разработанные унифицированные конструкции одно- и двухзубых расточных головок позволяют обрабатывать отверстия в заготовках из чугуна и стали диаметром 100—150 мм. Пластины из керамики закрепляют прихватом.

Специальные инструменты. Номенклатура выпускаемых стандартных конструкций инструмента с пластинами из керамики расширяется, но еще не обеспечивает быстро растущих потребностей промышленности в связи с чем разрабатывают и изготавливают специальные конструкции инструментов. Применяют резцы с пазом под пластину, выполненным напроход, и массивным при-

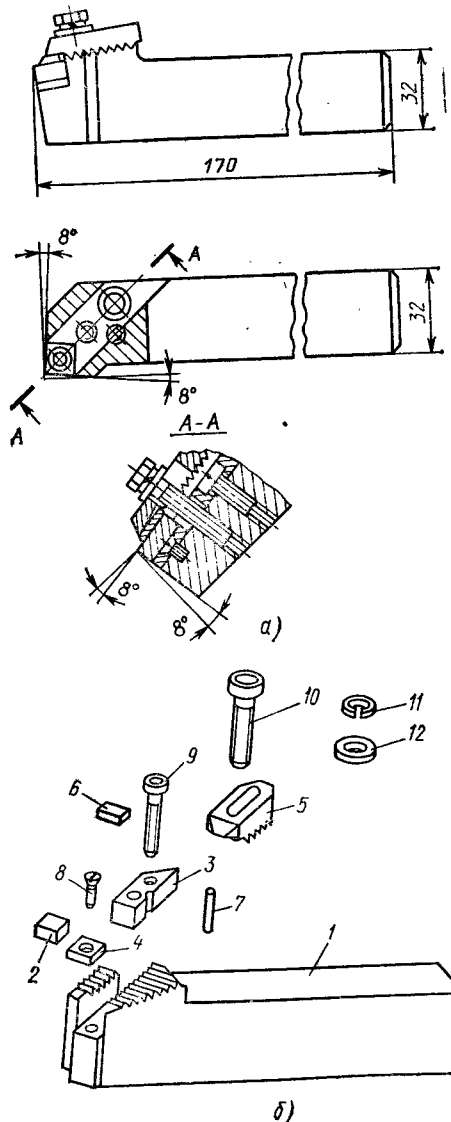


Рис. 2.25. Специальный токарный резец с пластинами из керамики:
а — конструкция; б — конструктивные элементы

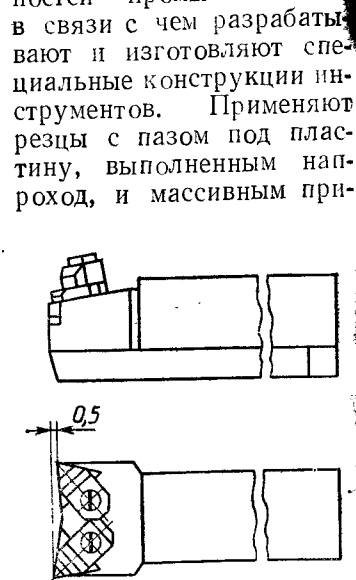


Рис. 2.26. Двусторонний токарный резец с пластинами из керамики для наружного точения и растачивания

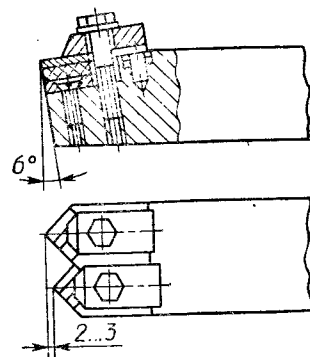
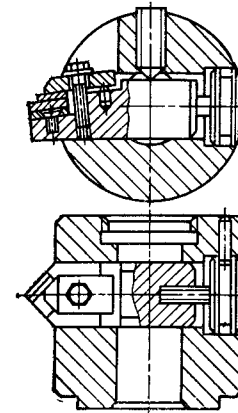


Рис. 2.27. Комбинированный токарный резец с двумя режущими пластинами из керамики для съема больших припусков за один рабочий ход

хватом, имеющим на нижней стороне зубчатую насечку для регулирования вылета. На корпусе резца также имеется зубчатая насечка. Резцы имеют сечение державки 32×32 и 32×25 мм (рис. 2.25). Для тонкого точения, растачивания отверстий и под-



резания торцов разработан двузубый резец с механическим креплением трехгранных пластин (рис. 2.26). Для того чтобы было возможно с одного установка державки обтачивать наружные поверхности и растачивать отверстия, вершины режущих пластин смещены на 0,5 мм. При обработке отверстий в резании участвует только одна пластина.

Разработана конструкция комбинированного резца, которая позволяет снимать за один рабочий ход большие припуски. В одном корпусе державки размещают две пластины квадратной формы; крепление производится прихватом (рис. 2.27).

Рис. 2.28. Расточная головка с пластиной из керамики

Разработана конструкция специальной расточной головки с квадратными пластинами из керамики. В корпусе головки установлена круглая державка, в гнезде которой находится пластина, закрепленная прихватом (рис. 2.28). Инструментом

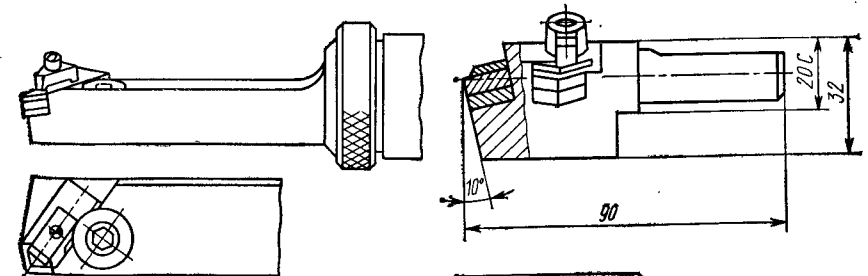
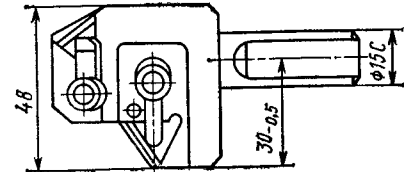


Рис. 2.29. Расточная оправка с пластинами из керамики для станков с ЧПУ

Рис. 2.30. Комбинированный резец с пластинами из керамики для расточной борштанги



обрабатывают отверстия диаметром 90—125 мм в стальных заготовках на вертикально-расточных станках. При чистовом растачивании отверстий диаметром 45—60 мм на станках ДГ-315 с ЧПУ применяется специальная расточная оправка. На корпусе оправки с помощью клиновой втулки закреплен резец (рис. 2.29).

Разработаны специальные конструкции резцов с квадратными пластинами из керамики. Это комбинированный резец к расточной борштанге, резец для станков-автоматов и др. (рис. 2.30-2.32).

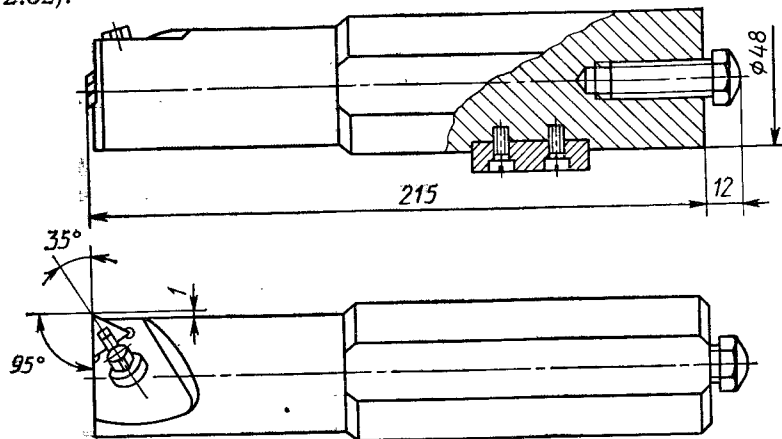


Рис. 2.31. Борштанга с механическим креплением трехгранных пластин из керамики для токарных станков с ЧПУ

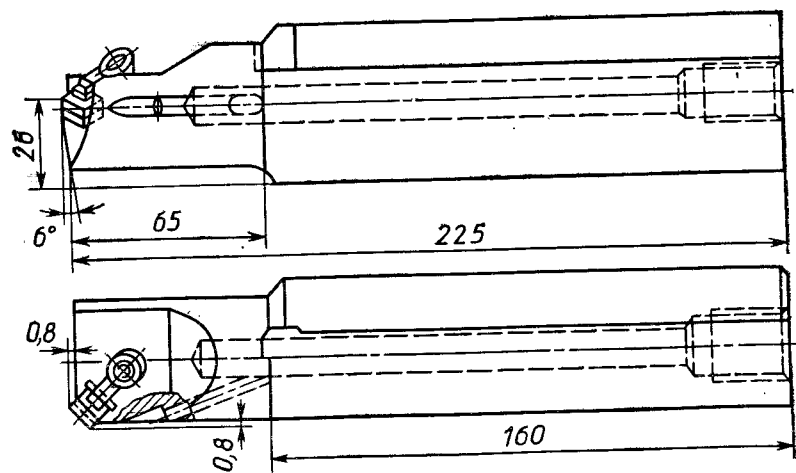


Рис. 2.32. Специальный резец с механическим креплением пластин из керамики с подводом СОЖ

Особенности конструкции зарубежных инструментов с пластинами из керамики. Пластины без отверстия устанавливают в глухие гнезда державок и закрепляют прихватом сверху с помощью болта или винта с разнонаправленной резьбой. Оба конца винта с разнонаправленной резьбой имеют внутренние шести-

гранные отверстия, что позволяет обслуживать резец как со стороны опорной поверхности резца, так и сверху (рис. 2.33).

Для обработки чугуна применяют прихват без стружколома.

Для крепления пластин из керамики без отверстия используют резцы Т-типа с креплением прихватом и регулируемым стружколомом.

В державках SEC-40 прихват имеет винт с разнонаправленной резьбой без стружколома. Для обработки стали резцом с регулируемым стружколомом применяют прихват с креплением болтом с однонаправленной резьбой (державка SEC-20).

Для крепления пластин с центральным цилиндрическим отвер-

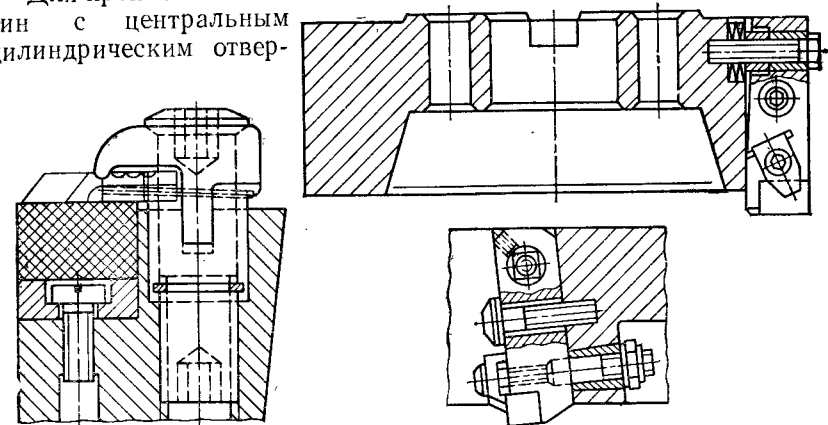


Рис. 2.33. Узел крепления резца с регулируемым стружколомом фирмы «Фельдмюлле»

Рис. 2.34. Сборная торцовая фреза с регулируемыми вставками с пластинами из керамики фирмы «Фельдмюлле»

стием «Диас Тырнов» и некоторые другие предприятия применяют конструкции резцов, аналогичные конструкциям резцов с твердосплавными пластинами: крепление в глухие гнезда державок с подтяжкой на боковые базовые поверхности качающимся штифтом, рычажком и др. Выпускают сборные многоступенчатые резцы для чистовой и черновой обработки.

Фрезы изготавливают однозубые (ЕВ) и многозубые (MFS) диаметром 80—500 мм, фрезы с керамическими пластинами SN80 и SN1 специальной формы. Квадратные пластины устанавливают в резцовых вставках, которые помещают в корпус фрезы. Для чистового фрезерования выпускают специальные резцовые вставки с очень точной регулировкой (рис. 2.34).

Для выполнения предварительной и окончательной обработки заготовок за один рабочий ход в корпусе фрезы устанавливают специальную режущую вставку, в которой квадратная зачистная пластина смещена относительно черновых зубьев на 0,05 мм и

имеет главный угол в плане $\varphi = 89,5^\circ$; таким образом, достигается эффект широкой зачистной пластины.

Торцовые фрезы SEC-ACEDNF 4000 с пластинами специальной квадратной формы CSN43MT из керамики NB90M выпускает фирма «Сумитомо». Эти фрезы оснащают также пластинами из твердых сплавов.

Фрезы выпускают диаметром D , равным 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400 и 500 мм, с числами зубьев соответственно 6, 8, 10, 12, 16, 20, 24, 32 и 40.

Кассету, имеющую гнездо под режущую пластину, помещают в выемке корпуса фрезы и закрепляют винтом. Пластины зажимают клином, имеющим центральное отверстие для винта с разнонаправленной резьбой.

Особенности конструкции расточных головок зарубежного производства. Для обработки отверстий фирма «Фельдмюлле» выпускает прецизионные расточные головки для станков с ЧПУ и многоцелевых, устанавливаемые в стандартные оправки для растачивания отверстий диаметром 40—65 мм.

Зарубежные фирмы выпускают резцы с пластинами из керамики как правого, так и левого исполнения, что позволяет применять инструменты на станках с ЧПУ и многоцелевых, а также в гибких автоматизированных системах.

«Диас Тырнов» выпускает широкий ассортимент державок резцов — свыше 14 типов. Корпус державки выдерживает обработку до 300 режущих пластин.

Фирма «Сандвик Коромант» отмечает высокую эффективность применения керамики в инструментах, применяемых на станках с ЧПУ и гибких автоматических переналаживаемых участках; она выпускает 17 типов державок для универсальных станков и станков с ЧПУ и 7 типов резцовых головок с пластинами TNGN, RNGN, DNGN для участков с автоматической сменой инструмента.

Для фрезерования фирма «Сумитомо Электрик» выпускает торцовые фрезы диаметрами 100—250 мм двух типов, десяти типоразмеров. Фирма «Фельдмюлле» производит чистовые фрезы MFS шести типоразмеров.

3. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РЕЗАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ИНСТРУМЕНТАМИ, ОСНАЩЕННЫМИ СТМ И КЕРАМИКОЙ

3.1. Точение и фрезерование инструментами, оснащенными СТМ

На основании опубликованной информации можно сделать следующие выводы об основных закономерностях резания инструментом из СТМ.

Износ резцов из композитов 01, 02 и 10 — сложный процесс с преобладанием при непрерывном точении адгезионных явлений. С увеличением контактных температур в зоне резания свыше 1000°C возрастает роль теплового и химического факторов: интенсифицируются диффузия и химический распад нитрида бора, фазовый $\beta \rightarrow \alpha$ -переход, абразивно-механическое изнашивание. Поэтому при точении сталей со скоростями 160—190 м/мин износ резко возрастает, а при $v \geq 220$ м/мин становится катастрофическим почти независимо от твердости стали. При прерывистом точении (с ударом) преобладает абразивно-механическое изнашивание с выкрашиванием и вырывом отдельных частиц (зерен) инструментального материала; роль механического удара возрастает при увеличении твердости матрицы обрабатываемого материала и объемного содержания карбидов, нитридов и т. п. Так, при точении с ударом закаленной быстрорежущей стали с HRC₃ 62—64 или твердого сплава резцы из композитов 01 и 10 одинаково неработоспособны вследствие механического разрушения кромки, а при точении серого чугуна наличие ударной нагрузки не сказывается на стойкости резцов из этих СТМ. Повышенная ударная вязкость композита 10 проявляется в более высокой стойкости по сравнению с композитом 01 при точении с ударом закаленных конструкционных и легированных сталей и твердых чугунов с HRC₃ 40—60. Наибольшее влияние на износ и стойкость резцов при непрерывном точении сталей оказывает скорость резания, при точении с ударом — скорость и подача, при точении чугунов — подача, причем обрабатываемость ковких чугунов ниже, чем серых и высокопрочных. Стойкость резцов возрастает (в среднем до 1,5 раз) при увеличении угла ϵ и радиуса r при вершине резца, а также при точении с охлаждением. Характер износа и стойкость резцов с пластинами из композита прямо зависят от жесткости станка. Так, при точении на старом малой жесткости станке преобладает износ режущей кромки — микровыкрашивание, а на новом станке той же модели — абразивно-механическое истирание задней поверхности.

Износ пластин из амборита и боразона характеризуется образованием площадок на их задней поверхности (критерий износа чистового инструмента $h_3 = 0,3 \dots 0,4$ мм, черногого $h_3 = 0,5 \dots 0,8$ мм) и лунок на передней поверхности глубиной 30—100 мкм. При точении материалов, сопровождающемся образованием сливной стружки, особенно быстрорежущих сталей и никелевых сплавов, образуется выемка на задней поверхности резца в месте контакта обрабатываемой поверхности заготовки и поверхности резания. Сколов и выкрашиваний не наблюдается. Суммарная стойкость цельных пластин из амборита в 2 раза больше, чем двухслойных пластин из боразона. Оптимальные геометрические параметры режущего клина резцов из композитов 01, 02 и 10 характеризуются отрицательным передним углом $\gamma = -6^\circ \dots -12^\circ$, задним углом $\alpha = 6^\circ \dots 12^\circ$, углом заострения $\beta \approx 90^\circ$. Радиус округления режущей кромки заточенных резцов $\rho = 10 \dots 20$ мкм; в начальный период резания он интенсивно увеличивается до 25—50 мкм и стабилизируется на этом уровне, практически не изменяясь в течение всего периода стойкости независимо от условий резания. Доводка и полирование передней и задней поверхностей резцов обеспечивают повышение их стойкости до 1,5—2 раз в результате снижения интенсивности адгезионных явлений в зоне контакта обрабатываемого материала и стружки с поверхностями инструмента. Наоборот, слишком острая кромка очень часто служит причиной выкрашивания или скола, поэтому после заточки, доводки и полирования рекомендуется скруглять ее (например, вручную мелкозернистым алмазным оселком) до $\rho = 20 \dots 40$ мкм. При точении с ударом для предохранения режущей кромки делают отрицательную фаску шириной 0,1—0,3 мм под углом 20° на передней поверхности. Более перспективно создание фасок (ленточек) шириной не более 0,1 мм на задней поверхности резца в плоскости резания, т. е. с $\alpha = 0$. Узкая фаска, имитирующая износ по задней поверхности, существенно упрочняет режущий клин около вершины и, кроме того, оказывает выглаживающее воздействие на обработанную поверхность.

Геометрические параметры режущей части инструмента для получистой и черновой обработки твердых материалов характеризуются отрицательным передним углом $\gamma = -6^\circ \dots -8^\circ$, наличием на режущих кромках пластины защитных фасок шириной 0,2 мм под углом 20° часто в сочетании со скругленной (путем хонингования) кромкой до $\rho \approx 20 \dots 30$ мкм. Для черновой обработки (с ударом, по корке), как правило, применяют пластины круглой формы. Пластины квадратной формы при той же стойкости позволяют вести обработку с подачами, в 2—3 раза меньшими, чем круглые, так как прочность режущего клина на пластине из СТМ существенно зависит от угла и радиуса при вершине.

Поэтому пластины трехгранной и ромбической формы, а также пластины с задними углами применяют реже. Очевидно, что препятствием для их внедрения является высокая стоимость при пониженных значениях допустимых подач. Для чистовой обработки, особенно мягких серых чугунов, применяют пластины без отрицательных фасок, но в большинстве случаев со скругленной (путем хонингования) кромкой. Отсутствие фасок позволяет снизить силу резания на 25—30 % и тем самым повысить точность обработки.

Результирующая сила резания определяется сечением среза и износом по задней поверхности; степень влияния твердости обрабатываемого материала и радиуса при вершине резца в 3—4 раза меньше. С увеличением скорости резания (при прочих равных условиях) сила резания незначительно уменьшается.

Контактные температуры на передней и задней поверхностях резца растут с увеличением скорости резания, подачи, площадки износа h_3 и, весьма слабо, — глубины резания. О месте нахождения основного источника тепла нет единого суждения, но наиболее вероятно, что на этапе установившегося резания ($h_3 \geq 0,10$ мм) это главная задняя поверхность (площадка износа), причем с уменьшением вязкости обрабатываемого материала вклад такого источника в суммарный тепловой поток возрастает. Данные об абсолютных значениях контактных температур также противоречивы вследствие существенной разницы методик и сложности контроля этого параметра в закрытой рабочей зоне. При точении закаленных сталей на рекомендуемых режимах резания диапазон температур равен 600—1200 °С. Так, установлено, что температура режущей кромки керамической пластины при точении закаленной подшипниковой стали с $v = 120$ м/мин, $S_0 = 0,18$ мм/об, $t = 1,0$ мм составляет около 1000 °С. Известно также, что твердость поликристаллов КНБ уменьшается примерно в 2 раза при увеличении температуры нагрева от 20 до 1100 °С. Изменяя скорости резания и подачи, можно управлять распределением теплового потока; например, при увеличении v и S_0 его часть, направляемая в заготовку, уменьшается, а часть, направляемая в стружку, — увеличивается.

На шероховатость обработанной поверхности наибольшее влияние оказывает подача; увеличение твердости стали и радиуса при вершине резца способствует ее уменьшению. При точении обеспечивается формирование регулярного микрорельефа поверхности. При точении закаленных сталей гарантированно получается $Ra = 0,40$ мкм, а чугунов — $Ra = 0,8$ мкм. Структурных изменений в поверхностном слое заготовки при точении резцами из композитов 01, 02 и 10, в отличие от шлифования, не происходит; микротвердость этого слоя выше, в нем образуются сжимающие напряжения (после шлифования, как правило, растяги-

вающие). Интенсивность размерного изнашивания резцов составляет 3—8 мкм/км в зависимости от режима резания, поэтому точность обработки определяется качеством исходного металла и его термообработкой, а также жесткостью и виброустойчивостью системы станок—приспособление—инструмент—заготовка. С помощью этих инструментов достигается точность по 6—9-му квалитету. Торцовые фрезы с ножами, оснащенными поликристаллами композитов 01 и 10, эффективны для чистовой обработки заготовок из чугунов и сталей любой твердости с глубиной резания 0,05—0,5 мм. Скорость резания нетермообработанных чугунов достигает 3000 м/мин, а конструкционных сталей — 900 м/мин; закаленные чугуны и стали обрабатывают со скоростями до 500 м/мин (в зависимости от твердости), за исключением быстрорежущих сталей HRC₂ 60 ... 66, которые фрезеруют с $v = 20 \dots 40$ м/мин. Обычное охлаждение не рекомендуется, так как оно способствует интенсификации термоудара и разрушению режущей кромки; целесообразно только мощное охлаждение на станках с закрытой рабочей зоной, обеспечивающее постоянное нахождение зубьев в потоке СОЖ. Фрезы с механическим креплением пластин из композита 05 предназначены исключительно для обработки заготовок из чугунов, в том числе с литевой коркой, с глубиной резания до 6—7 мм. Стальные включения (заварки, раковины, куски металлолома и т. п.) не допускаются, т. е. качество литья должно быть высоким. При наличии мощного и жесткого оборудования с высокой частотой вращения шпинделя эти фрезы дают возможность вести обработку корпусных чугунных заготовок от черновых до чистовых операций с высокими качеством и производительностью. Большая часть теплоты при этом уходит со стружкой, и заготовки не нагреваются даже при интенсивном съеме металла [(1—3) 10⁶ мм³/мин] (при таких скоростях образования стружки мощный поток СОЖ необходим для ее удаления в сборники и очистки базовых поверхностей оснастки; кроме того, нагретая стружка мешает оператору менять заготовку).

Главный резерв повышения производительности и точности обработки, стойкости и надежности работы фрез из композитов — увеличение скорости резания. Так, для обеспечения подачи 1500 мм/мин регулируемая фреза диаметром 315 мм с пластинами из композита 05 ($z = 30$) должна работать со скоростями не менее 1500 м/мин ($n = 1500$ мин⁻¹). При высоких скоростях предотвращается негативное воздействие на зубья термоцикличности, смягчаются механические удары при входе и выходе из заготовки, в том числе вследствие уменьшения подачи на зуб. Торцовое биеение режущих кромок фрез должно быть минимально — не более 0,005 мм, а радиальное — не более 0,05 мм. Износ режущих элементов из композита при работе на оптимальных режимах резания имеет адгезивно-усталостный характер. Размеры пло-

шадки износа по задней поверхности оказывают существенное влияние на силу резания и потребляемую мощность, поэтому критерий затупления следует выбирать в каждом конкретном случае с учетом этого фактора: как правило, при чистовой обработке $h_3 \leq 0,3 \dots 0,4$ мм, а при предварительной — $h_3 \leq 0,7 \dots 0,9$ мм.

В мировой практике наиболее широко применяются алмазные инструменты, оснащенные двухслойными режущими элементами из СТМ типа компакс, синдит, сумидиа и др. Они обладают высокой прочностью, износостойкостью, изотропными свойствами, хорошо припаиваются к корпусу инструмента. Геометрические параметры этих резцов и фрез те же, что резцов и фрез из твердых сплавов: положительные передние углы $\gamma = 0^\circ \dots +15^\circ$, задние углы — не более 10° . Доводка и полирование рабочих поверхностей уменьшают интенсивность адгезионных явлений, заметно повышают стойкость инструмента и качество обработки. Такое же воздействие оказывает СОЖ — водорастворимые масла. Экономический эффект от внедрения алмазного инструмента обеспечивается, как правило, в результате повышения стойкости в десятки и сотни раз. В большинстве случаев алмазные резцы в отличие от инструмента из КНБ используют на том же оборудовании и в тех же наладках, что и твердосплавные.

При наличии специальных станков с высокими скоростями резания, которые выдерживает алмазный инструмент, достигается повышение производительности обработки в несколько раз. Так, торцовое фрезерование алюминий-кремниевых сплавов выполняют при скоростях резания 50 м/с. Фирмой «Локхид» (США) уже созданы станки для обработки заготовок деталей, применяемых в аэрокосмической технике, из подобных сплавов алмазными инструментами при скоростях резания до 10 000 м/мин (150—170 м/с). В то же время установлено, что алмазный инструмент не пригоден для обработки сплавов на основе железа. Поэтому пока не удалось достичь высокопроизводительной обработки алюминиевых поршней с запрессованными компрессионными и маслосборными чугунными кольцами за один рабочий ход.

Ниже приведены некоторые эмпирические зависимости, отражающие закономерности резания инструментами из СТМ.

Зависимость стойкости (мин) токарных проходных резцов, оснащенных композитом 01, от режимов резания закаленных сталей с HRC₂ 58 ... 66 следующая:

$$T = \frac{K_T}{v^{1/m} S_y^{0,7} x_T} \quad (3.1)$$

Коэффициент и показатели степени для резцов с $\gamma = -10^\circ$, $\alpha = \alpha_1 = 15^\circ$, $\phi = 35^\circ$, $\phi_1 = 15^\circ$, $r = 0,3 \dots 0,6$ мм даны в табл. 3.1.

Зависимости составляющих силы резания и параметра шероховатости (R_a) обработанной поверхности от параметров режимов

3.1. Значения показателей и постоянных величин, входящих в формулу (3.1)

Сталь	Твердость, HRC ₃	Коэффициент и показатели степени			
		$K_T \cdot 10^4$	$\frac{1}{m}$	x_T	n_T
P6M5	63—66	2,46	1,65	0,33	0,51
P18	62—64	2,80	1,65	0,30	0,48
9XC	60—63	0,63	1,45	0,38	0,52
40X13	48—52	0,93	1,55	0,40	0,56

Примечание. Режимы резания: $v = 50 \dots 100$ м/мин; $S_0 = 0,02 \dots 0,16$ мм/об; $t = 0,1 \dots 1$ мм.

резания и твердости для этого случая следующие:

$$P_x = v^{-0,15} S_0^{0,48} t^{1,1} (HRC_3)^{0,24} r^{-0,22}; \quad (3.2)$$

$$P_y = v^{-0,15} S_0^{0,56} t^{0,88} (HRC_3)^{0,30} r^{0,30}; \quad (3.3)$$

$$P_z = v^{-0,15} S_0^{0,65} t^{0,65} (HRC_3)^{0,12} r^{0,09}; \quad (3.4)$$

$$Ra = 47,1 S_0^{1,3} r^{-0,42} HV^{-0,19}. \quad (3.5)$$

Контактная температура зависит от режимов резания стали следующим образом:

$$\theta = 490 v^{0,2} S_0^{0,12} t^{0,09} \quad (3.6)$$

($v = 5 \dots 250$ м/мин; $S_0 = 0,02 \dots 0,3$ мм/об; $t = 0,02 \dots 0,4$ мм).

Зависимость средней контактной температуры на передней поверхности резца из композита 01 от параметров режимов резания:

для стали P18 с HRC₃ 62—64

$$\theta = 278 v^{0,42} S_0^{0,23} t^{0,08} \quad (3.7)$$

($v = 27 \dots 240$ м/мин; $S_0 = 0,02 \dots 0,106$ мм/об; $t = 0,1 \dots 0,3$ мм);

для стали ХВГ с HRC₃ 52—56 $\theta = 163 v^{0,3} (S_0 = 0,052 \text{ мм/об}; t = 0,1 \text{ мм})$.

Распределение теплоты между заготовкой Q_3 и стружкой Q_0 (20 % теплоты всегда поступает в резец):

v , м/мин	10	50	150	S_0 , мм/об	0,01	0,03	0,12
Q_0 , %	20	45	60	Q_0 , %	18	40	60
Q_3 , %	60	35	20	Q_3 , %	62	40	20

Зависимость стойкости резцов (мин) из композита 10 при точении порошковой стали с HRC₃ 54—58 и пористостью 4—6 % следующая:

$$T = \frac{25,4 \cdot 10^4}{v^{2,44} S_0^{0,67} t^{0,72}} \quad (3.8)$$

($v = 70 \dots 200$ м/мин; $S_0 = 0,04 \dots 0,12$ мм/об; $t = 0,05 \dots 0,2$ мм; $\gamma = -15^\circ$; $\alpha = \alpha_1 = 10^\circ$; $\varphi = 45^\circ$; $\varphi_1 = 15^\circ$; $\lambda = 2^\circ$; $r = 0,4$ мм).

Зависимость стойкости (мин) торцевой фрезы с ножами из композита 01 при обработке стали ХВГ с HRC₃ 62—64 от скорости резания и подачи:

$$T = \frac{34}{S_z^{0,86} v^{0,33}} \quad (3.9)$$

($B = 50$ мм; $D_\Phi = 63$ мм; $z = 6$; $\varphi = 35^\circ$; $\varphi_1 = 15^\circ$; $\gamma = -5^\circ$; $\alpha = \alpha_1 = 8^\circ$; $f = 0,3 \dots 0,5$ мм; биение $\leq 0,01$ мм; $S_z = 0,02 \dots 0,10$ мм/зуб; $t = 0,1 \dots 0,4$ мм; $v = 50 \dots 200$ м/мин); $Ra = 18,7 S_z^{1,22}$ (сталь ХВГ) и $Ra = 2,7 S_z^{0,5} v^{-0,1}$ (чугун СЧ 21); при обработке стали У8А с HRC₃ 58—60

$$T = \frac{21,4 \cdot 10^4}{v^{1,39} S_z^{0,5} t^{0,35} r^{0,18}} \quad (3.10)$$

($\varphi = 30^\circ$; $\varphi_1 = 15^\circ$; $\gamma = -16^\circ$; $\alpha = 15^\circ$; $\lambda = -10^\circ$; $f = 0,3$ мм; $v = 100 \dots 500$ м/мин; $S_z = 0,025 \dots 0,1$ мм/зуб; $t = 0,25 \dots 1,0$ мм).

Зависимость стойкости резцов с квадратной пластиной SNMN120312T из амборита (мин):

при точении углеродистой стали с HRC₃ 58

$$T = \frac{100}{v^{1,52} h_e^{2,14}} \quad (3.11)$$

($t = 0,5 \dots 1,0$ мм; $v = 30 \dots 75$ м/мин; $h_e = 0,05 \dots 0,22$ мм — толщина среза);

для закаленного чугуна с HRC₃ 55

$$T = \frac{70,6}{v^{0,84} h_e^{1,55}} \quad (3.12)$$

($t = 0,5 \dots 1,0$ мм; $v = 40 \dots 160$ м/мин; $h_e = 0,05 \dots 0,22$ мм).

3.2. Точение и фрезерование инструментами, оснащенными керамикой

Точение. Исследования показали, что у резцов из оксидной керамики ЦМ-332, ВШ-75 и резцов из оксидно-карбидной керамики В-3 при точении стали 45 с НВ 207—217 стойкость практически одинакова, однако коэффициент ее вариации у керамики ЦМ-332 выше ($v = 0,1 \dots 0,4$) по сравнению с коэффициентом вариации стойкости у пластин из ВШ ($v = 0,1 \dots 0,2$) и В-3 ($v = 0,07 \dots 0,20$). При безударном точении стали 40Х с НВ 207—217 стойкость пластин из керамики ВШ-75 в 1,5—3 раза выше стойкости пластин из керамики ЦМ-332. При точении серого чугуна СЧ 20 с НВ 170—190 керамика ВШ-75 также имеет более высокие режущие свойства.

При прерывистом точении как серого чугуна, так и стали 45 режущие свойства ВШ-75 ниже, чем режущие свойства В-3.

3.2. Значения показателей и постоянных величин для зависимостей стойкости и скорости резания

Керамика	Обрабатываемый материал	C_T	C_v	x_T	y_T	z_T	m	y_v	z_v
ВШ-75	Сталь 45, НВ 207—217	64,4	75—300	0,37	0,92	0,23	2,7	2,48	0,62
	Чугун СЧ 21, НВ 170—190	122 562	3647	1,43	0,39	0,47	0,7	0,27	0,33
В-3	Высокопрочный чугун, ВЧ 60	69	2221	0,55	0,35	0,11	1,82	0,63	0,20

3.3. Зависимости износа резцов с пластинами из ВШ-75 от режимов точения стали ХВГ

Формула для определения износа h_3 (мм)	Диапазон условной обработки		
	Наличие СОЖ	HRC ₃	Режимы резания
$h_3 = 1,5311 \cdot 10^{-3}v + 0,4405 \cdot 10^{-3}v + 0,43$	Есть	28	$v = 50 \dots 400$ м/мин; $S = 0,07$ мм/об; $t = 0,2$ мм. Геометрические параметры режущей части резцов: $\varphi = 35^\circ$; $\varphi_1 = 45^\circ$; $\gamma = -(8 \dots 10)^\circ$; $\alpha = \alpha_1 = 8 \dots 10^\circ$; $f = 0,4 \dots 0,6$ мм; $\varphi_t = 0^\circ$
$h_3 = 3,4516 \cdot 10^{-3}v + 0,2865 \cdot 10^{-3}v + 0,029$	Нет	28	
$h_3 = 2,4305 \cdot 10^{-3}v + 3,6256 \cdot 10^{-4}v + 0,093$	Есть	35	

Установлены зависимости стойкости (мин) и скорости резания (м/мин) от параметров режимов резания для керамики ВШ-75 и В-3:

$$T = \frac{C_T}{v^{x_T} S^{y_T} t^{z_T}} \quad (3.13)$$

$$v = \frac{C_v}{T^m S^{y_v} t^{z_v}} \quad (3.14)$$

Значения постоянных величин и показателей в формулах (3.13) и (3.14) даны в табл. 3.2.

При точении ($v = 100$ м/мин; $S = 0,07$ мм/об; $t = 0,2$ мм) стали ХВГ твердостью HRC₃ 28—35 стойкость пластин ВШ-75 составила 120—180 мин. Экспериментом установлено, что керамика ВШ-75 эффективна при обработке «сырой» и закаленной стали ХВГ до HRC 50—55.

Получены зависимости износа резцов с пластинами из ВШ-75 от продолжительности точения и скорости резания, приведенные в табл. 3.3.

Режущие свойства оксидной керамики ВО-13, а также ВОК-60 и твердого сплава Т30К4 исследовали при точении стали 45

3.4. Стойкость (мин) резцов с пластинами из керамики и твердого сплава при точении «сырой» стали 45

Марка инструментального материала	v , м/мин			
	200	300	400	500
ВОК-60	228	119	56	17
ВОК-63	—	87	41	—
ВО-13	262	154	65	21
Т30К4	249	46	9	—

(НВ 210—230). Геометрические параметры резцов с механическим креплением сменных пластин были следующими: $\gamma = -7^\circ$; $\alpha = \alpha_1 = 7^\circ$; $\lambda = 7^\circ$; $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$; $r = 1,2$ мм. При $S = 0,3$ мм/об и $t = 0,5$ мм стойкость керамики различных марок и твердого сплава в зависимости от скорости резания дана в табл. 3.4.

Анализ результатов показывает, что некоторое преимущество по стойкости керамика ВО-13 имеет во всем диапазоне исследованных скоростей резания.

Скорость резания оказывает значительное влияние на стойкость; повышение скорости в 2 раза (с 200 до 400 м/мин) приводит к уменьшению стойкости резцов из ВОК-60 и ВО-13 в 4,1 раза, а резцов из твердого сплава — почти в 28 раз. Резцы с пластинами из твердого сплава были практически неработоспособны при $v \geq 400$ м/мин.

Зависимость стойкости от продольной подачи при точении стали 45 с НВ 210—230 ($t = 0,5$ мм; $v = 400$ м/мин) резцами с пластинами из керамики ВО-13 имеет экстремум:

S , мм/об	0,1	0,2	0,3	0,45	0,5	0,6	0,75
T , мин	60	62	65	60	51	40	20

Работа с подачей $S \geq 0,70$ мм/об нерациональна, так как резко увеличивается коэффициент вариации стойкости, возрастает нестабильность режущих свойств инструмента. Нерациональна работа и с большими скоростями резания ($v \geq 500$ м/мин). Это объясняется не только особенностями ВО-13, но в основном невысоким качеством изготовления оксидной керамики.

При отсутствии биения и ударов влияние r на стойкость незначительно. В случаях биения заготовки 0,2—0,3 мм и более прочность пластин радиусом $r = 1,5$ мм неудовлетворительна, наблюдаются сколы вершин при износе $h_3 = 0,45 \dots 0,6$ мм.

Значительно выше стабильность работы инструментов с пластинами толщиной $s = 8$ мм по сравнению со стабильностью работы инструментов с пластинами толщиной $s = 4,76$ мм. При точении с $v \geq 400$ м/мин и $S \geq 0,5$ мм/об пластины толщиной $s = 4,76$ мм имели коэффициент вариации стойкости $v \geq 0,3$, а у пластин толщиной $s = 8$ мм сколы и поломки практически отсутствовали.

Зависимость стойкости от режимов резания исследовали при v , равной 450 и 950 м/мин; S , равной 0,6 и 0,2 мм/об; t , равной 0,25 и 1 мм. Максимальные значения S и t ограничены мощностью станка (25 кВт). Геометрические параметры резцов: $\beta = 13^\circ$; $r = 3$ мм; $s = 8$ мм. Получена зависимость

$$T = 773 - 2,91v - 129S - 47,8t + 0,314vS + 0,283vt - 89,6St + 0,0028v^2 - 45,3S^2 - 58,6t^2. \quad (3.15)$$

Установлен экстремальный характер зависимостей $T = f(S)$ и $T = f(t)$. При работе с большой скоростью резания ($v = 471,5$ м/мин) стабильность резцов меньше ($v = 0,31 \dots 0,34$), чем при точении со скоростью резания $v = 250$ м/мин ($v = 0,18 \dots 0,24$).

Представляют интерес особенности износа пластин из керамики ВО-13 и ВОК-60. Износ по задним поверхностям h_3 у пластин из оксидно-карбидной керамики несколько меньше, чем у пластин из оксидной керамики. При $h_3 = 0,55 \dots 0,65$ мм у пластин из ВОК-60 чаще всего происходит скол или выкрашивание, преимущественно по задним поверхностям, и инструмент становится неработоспособным. Часто скалывается переходная режущая кромка вблизи от вспомогательной режущей кромки. Это происходит вследствие образования лунки на передней поверхности у керамики ВОК-60.

При точении резцами с пластинами из оксидной керамики наблюдалось периодическое «осыпание» режущих кромок. Стенки лунки износа на передней поверхности при этом как бы утолщались и резец продолжал оставаться работоспособным даже при $h_3 = 0,9 \dots 1,1$ мм. Значительно меньше было сколов и выкрашиваний, что позволило практически полностью использовать все вершины пластин в работе.

Конструкция резцов с пластинами из керамики следующая: крепление сверху прихватом и накладной стружкой предохраняют неработающие режущие кромки керамики от повреждения сходящей стружкой.

Исследования зависимости стойкости резцов с пластинами из керамики ВО-13 от продольной подачи S (мм/об), угла наклона

режущей пластины β и радиуса при вершине r (мм) проводили при обработке заготовок из стали 40X с НВ 210—230, скорости резания $v = 400$ м/мин, глубине резания $t = 0,5$ мм.

Уровни варьирования факторов (у r 4,5 и 1,5 мм, у β 22 и 6° , у S 0,70 и 0,15 мм/об) соответствовали границам зоны резкого уменьшения стойкости. За критерий затупления резца было принято наличие задиров на обработанной поверхности при различном сочетании r , S , β . В результате экспериментов получена зависимость

$$T = 38,5 - 5,1r + 3\beta + 69,4S + 7rS + 0,06\beta S - 0,12\beta^2 - 159S^2. \quad (3.16)$$

Очевидно, что β оказывает значительное влияние на стойкость. Для основных уровней: $r = 3$ мм и $S = 0,425$ мм/об при изменении β от 6 до 22 % колебание стойкости составляет 55 %. Для всех сочетаний r и S в приведенных условиях оптимальное значение $\beta = 12 \dots 14^\circ$.

3.5. Значения показателей степени и постоянной C_T при точении стали керамикой В-3

Обрабатываемая сталь (в состоянии поставки)	$C_T \cdot 10^{-3}$	α_T	γ_T	β_T
У8А	41	1,6	0,89	0,10
40ХН	9,5	1,4	0,66	0,17
40Х	1,5	0,77	0,43	0,09

Примечание. Условия обработки: $d_3 = 50 \dots 100$ мм; $L_3 = 400 \dots 500$ мм; $v = 100 \dots 200$ м/мин; $S = 0,2 \dots 0,4$ мм/об; $t = 0,5 \dots 1,5$ мм.

В результате испытаний при точении стали в состоянии поставки марок 40X, 40XН, У8А и 45 проходными резцами с пластинами из керамики В-3 были установлены зависимости стойкости от режимов резания вида (3.13). Значения показателей степени и постоянной C_T приведены в табл. 3.5.

Следует отметить, что приведенные в табл. 3.5 результаты получены при невысоких скоростях резания, а это снижает их практическую значимость.

Точение резцами с пластинами из ВО-13 требует большей эффективной мощности, чем точение резцами с твердосплавными пластинами. Например, при $v = 400$ м/мин, $S = 0,3$ мм/об и $t = 0,5$ мм, т. е. практически при чистой обработке была необходима мощность более 11 кВт, что превышает мощность токарных станков средних типоразмеров.

Весьма эффективно применение пластин толщиной $s = 8$ мм с радиусом $r = 3$ мм. Оптимальное резание достигается на станках мощностью $N = 25 \dots 30$ кВт, при частоте вращения шпинделя $n \geq 2000$ мин⁻¹.

Исследование точения закаленной стали ШХ15СГ с HRC₃ 61—63 проводили при следующих геометрических параметрах режущей части резцов с пластинами из керамики В-3: $\gamma = -26^\circ$; $\alpha = \alpha_1 = 6^\circ$; $\lambda = -6^\circ$; $r = 0,8$ мм; $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$.

Передний отрицательный угол пластины выполнен на фаске $f = 0,30$ мм. Обрабатывали толстостенные трубы диаметром 105 мм и длиной 250 ... 300 мм на токарно-винторезном станке 16К20 с бесступенчатым регулированием частоты вращения.

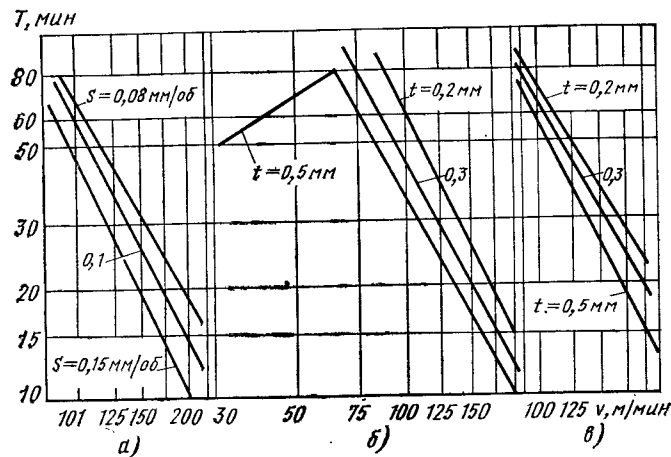


Рис. 3.1. Зависимость стойкости T резцов из керамики В-3 от скорости резания при $t = 0,3$ мм (а), $S_0 = 0,15$ мм/об (б), $S_0 = 0,08$ мм/об (в)

Режимы резания: $v = 30 \dots 250$ м/мин; S равно 0,08; 0,10 и 0,15 мм/об; $t = 0,20 \dots 0,50$ мм. Критерий затупления $[h_3] = 0,35$ мм.

Анализ полученных зависимостей показывает, что при $v \ll \ll 70$ м/мин стойкость резцов уменьшается вследствие возрастания интенсивности хрупкого разрушения керамики (рис. 3.1). При $v = 175 \dots 250$ м/мин более 50 % опытов заканчивались выкрашиванием и сколом режущих кромок. Для рекомендуемого диапазона скорости резания закаленной стали установлены зависимости, количественные значения показателей степени в которых даны в табл. 3.6:

$$T = \frac{C_v}{v^{x_T}}; \quad (3.17)$$

$$T = \frac{C_t}{t^{y_T}}; \quad (3.18)$$

$$T = \frac{C_S}{S^{z_T}}. \quad (3.19)$$

Показатель степени при скорости резания $x_T = 1,9 \dots 2,3$. Из табл. 3.6 следует, что с увеличением скорости резания степень влияния подачи и глубины резания на стойкость практически не изменяется. С увеличением глубины и подачи степень их влияния на стойкость увеличивается. Это свидетельствует о том, что у керамики В-3 доминирует не тепловой износ, а хрупкое разрушение.

3.6. Значения показателей для зависимостей (3.18) и (3.19)

v , м/мин	y_T при S_0 , мм/об		z_T при t_0 , мм	
	0,08	0,15	0,30	0,50
100	—	0,62	0,66	—
125	0,29	—	0,73	0,93
150	0,33	0,51	0,70	0,98

В диапазоне $v = 30 \dots 175$ м/мин при изменении подачи от 0,08 до 0,15 мм/об параметр шероховатости обработанной поверхности $Rz = 1 \dots 4$ мкм при износе $h_3 \geq 0,35$ мм (рис. 3.2). В этих же условиях стойкость резцов с пластинами из ВК-60М была в 6—10 раз меньше.

Радиальный износ резцов измеряли с помощью фотометрического метода, точность измерения 0,001 мм. Установлено, что среднее значение размерного износа резцов из В-3 невелико (20 мкм) при стойкости резцов $T = 20 \dots 30$ мин (рис. 3.3).

Радиальный износ резцов измеряли с помощью фотометрического метода, точность измерения 0,001 мм. Установлено, что среднее значение размерного износа резцов из В-3 невелико (20 мкм) при стойкости резцов $T = 20 \dots 30$ мин (рис. 3.3).

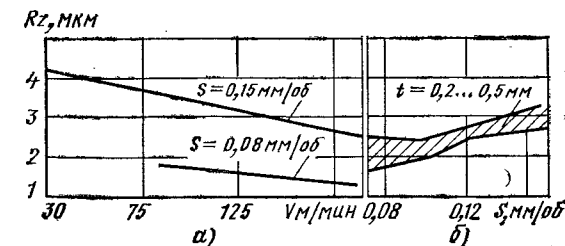


Рис. 3.2. Влияние скорости резания v при $t = 0,5$ мм (а) и подаче S_0 при $v = 150$ м/мин (б) на параметр шероховатости обработанной поверхности Rz

В результате экспериментов установлено влияние подачи и глубины резания на составляющие силы резания:

$$P_x = C_{P_x} t^{y_{P_x}} S^{z_{P_x}}; \quad (3.20)$$

$$P_y = C_{P_y} t^{y_{P_y}} S^{z_{P_y}}; \quad (3.21)$$

$$P_z = C_{P_z} t^{y_{P_z}} S^{z_{P_z}}. \quad (3.22)$$

Значения постоянных коэффициентов и показателей степени в зависимостях (3.20)—(3.22) даны в табл. 3.7. Скорость резания в исследованном диапазоне параметров режимов резания не оказывает заметного влияния на P_x , P_y , P_z .

С ростом износа резца и образованием уступа на передней поверхности в пределах ширины фаски увеличивается радиальная составляющая P_y , причем $P_y \gg P_z$ (рис. 3.4).

Установлены зависимости вида $\Delta P_y = Ch_3^n$ для расчета приращения усилия резания в зависимости от износа h_3 .

В табл. 3.8 приведены расчетные формулы для определения P_y с учетом износа резцов.

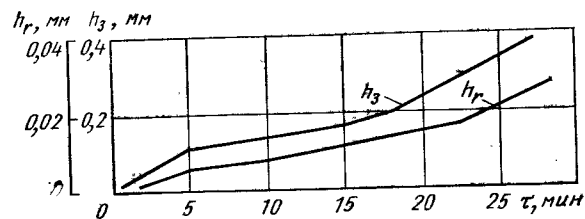


Рис. 3.3. Зависимость радиального износа h_r и износа по задней поверхности h_3 от продолжительности обработки τ резцами с пластинами из керамики В-3: $v = 150$ м/мин; $S_0 = 0,15$ мм/об; $t = 0,3$ мм

Погрешность формы детали в продольном сечении определяется уравнением

$$\omega_\phi = \omega_r + \omega_T + \omega + \omega_{ж.с.} \quad (3.23)$$

где ω_r — погрешность от радиального износа резца; $\omega_{ж.с.}$ — погрешность от изменения жесткости системы станок—приспособление—инструмент—заготовка в течение рабочего хода (жесткость у задней бабки меньше, чем у патрона) и от роста силы P_y при износе; ω_T — погрешность от накопленного деталию и резцом тепла; $\omega \approx 20$ мкм постоянная для данного станка.

Погрешность на первых рабочих ходах, т. е. в период приработки резца, выше, чем в период установившегося изнашивания.

3.7. Значения постоянных коэффициентов и показателей степени для формул (3.20)—(3.22)

Составляющая сила резания	$C_{P_x, y, z}$	$\nu_{P_x, y, z}$	$z_{P_x, y, z}$
P_x	121	1,10	0,50
P_y	200	0,70	0,60
P_z	262	0,80	0,75

3.8. Расчетные зависимости для определения P_y с учетом износа резцов из керамики В-3

S_0 , мм/об	t , мм	Расчетная формула P_y
0,08	0,2	$P_y = 200t^{0,7}S_0^{0,6} + 58h_3^{1,35}$
0,15	0,3	$P_y = 200t^{0,7}S_0^{0,6} + 152h_3^{1,34}$
0,08	0,3	$P_y = 200t^{0,7}S_0^{0,6} + 270h_3^{2,0}$
0,08	0,5	$P = 200t^{0,7}S_0^{0,6} + 170h_3^{2,12}$

Примечание. Условия обработки: $v = 150$ м/мин; $T = 20 \dots 40$ мин

вания, когда она составляет 2—3 мкм (рис. 3.5). Погрешность $\omega_{ж.с.}$ растет с увеличением числа обработанных заготовок, т. е. по мере увеличения силы P_y , и превосходит все остальные погрешности.

Исследование точения нетермообработанной стали 40X с HB 180—220 и закаленной стали с HRC_s 45—55 выполняли рез-

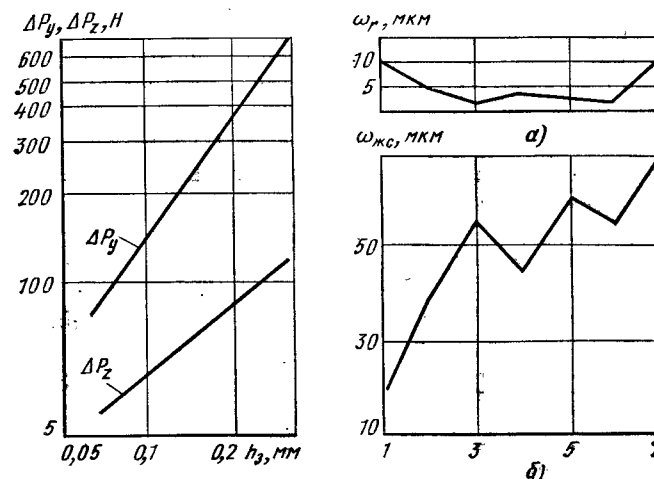


Рис. 3.4 (слева). Зависимость приращений ΔP_y и ΔP_z , составляющих силы резания, от износа h_3 : $v = 150$ м/мин; $S_0 = 0,15$ мм/об; $t = 0,3$ мм

Рис. 3.5 (справа). Погрешности формы деталей ω_r (а) и $\omega_{ж.с.}$ (б), обработанных резцами с пластинами из керамики В-3: $v = 150$ м/мин; $S_0 = 0,08$ мм/об; $t = 0,5$ мм

цами с квадратными пластинами из ВОК-60, причем геометрические параметры режущей части были: $\alpha = 4^\circ$; $\gamma = -4^\circ$; $\lambda = 0$; $r = 1,2$ мм; $\phi = \phi_1 = 45^\circ$; $\gamma_\phi = -20^\circ$; $f = 0,3$ мм. За критерий затупления принимали износ пластин по задним поверхностям $h_3 = 0,40$ мм.

3.9. Значения постоянных коэффициентов и показателей степени для формулы (3.24) при обработке стали керамикой ВОК-60

Обрабатываемый материал	$C_T \cdot 10^{-5}$	x_T	y_T	z_T	Условия обработки
40X, HB 180—220	2	-1,69	-0,52	-0,60	$v = 200 \dots 400$ м/мин; $S = 0,12 \dots 0,40$ мм/об; $t = 1 \dots 3$ мм
Сталь закаленная, HRC 45—55	1,8	-2,30	-1,24	-0,35	$v = 120 \dots 180$ м/мин; $S = 0,11 \dots 0,26$ мм/об; $t = 1,0 \dots 3,0$ мм

В результате исследований установлены зависимости стойкости резцов из керамики ВОК-60 от параметров режимов резания:

$$T = C_T v^{x_T} S^{y_T} t^{z_T} \quad (3.24)$$

Значения C_T , показателей степени в зависимости (3.24) и условия обработки даны в табл. 3.9.

При исследовании динамических характеристик процесса точения обрабатывали сталь 45 (НВ 180—220) и чугун СЧ 28 (НВ 182) Силы резания измеряли на динамометре УДМ-600 острозаточенными резцами ($h_a \leq 0,05$ мм) и резцами с $h_a = 0,40$ мм.

Установлены зависимости составляющих силы резания от режимов резания вида (при $h_a < 0,05$ мм):

$$P_x = C_{P_x} v^{x_{P_x}} S^{y_{P_x}} t^{z_{P_x}} \quad (3.25)$$

$$P_y = C_{P_y} v^{x_{P_y}} S^{y_{P_y}} t^{z_{P_y}} \quad (3.26)$$

$$P_z = C_{P_z} v^{x_{P_z}} S^{y_{P_z}} t^{z_{P_z}} \quad (3.27)$$

Значения C_P , x_P , y_P , z_P даны в табл. 3.10.

С увеличением износа силы резания, особенно при точении закаленной стали, существенно растут. Математическая обработка результатов экспериментов позволила получить зависимости, в которых учтено влияние износа ($h_a = 0,05 \dots 0,40$ мм) для стали с HRC₂ 62—64:

$$P_x = 200v^{-0,13} S^{0,29} t^{1,27} (1 + 1,4h_a); \quad (3.28)$$

$$P_y = 280v^{-0,09} S^{0,33} t^{0,90} (1 + 1,51h_a); \quad (3.29)$$

$$P_z = 278v^{-0,16} S^{0,55} t^{0,8} (1 + 1,27h_a). \quad (3.30)$$

Расчеты по формулам (3.28)—(3.30) показывают, что составляющие силы резания увеличиваются с ростом износа резцов в 1,3—1,6 раза, причем значения P_y часто превышают значения P_z .

При точении нетермообработанной стали для составляющей P_z получена расчетная формула с поправкой на износ:

$$P_z = 192v^{-0,10} S^{0,63} t^{0,95} (1 + 0,36h_a). \quad (3.31)$$

Сравнение зависимостей (3.30) и (3.31) показывает, что при точении нетермообработанной стали с НВ 180—200 степень влияния износа на P_z значительно меньше по сравнению со степенью влияния износа при обработке закаленной стали с HRC₂ 62—64.

3.10. Значения постоянных коэффициентов и показателей степени для формул (3.25)—(3.27)

Обрабатываемый материал	Составляющая сила резания	C_P	x_P	y_P	z_P	Режим резания при $h_a \leq 0,05$ мм
Сталь, HRC 62—64	P_x	280	-0,16	0,41	1,04	$v = 45 \dots 75$ м/мин; $S = 0,07 \dots 0,15$ мм/об; $t = 0,50 \dots 1,0$ мм
	P_y	330	-0,10	0,38	0,81	
	P_z	235	-0,08	0,59	0,81	
Сталь 45, НВ 180—200	P_x	122	-0,12	0,40	1,02	$v = 150 \dots 450$ м/мин; $S = 0,10 \dots 0,40$ мм/об; $t = 1 \dots 3$ мм
	P_y	188	-0,12	0,48	0,86	
	P_z	200	-0,10	0,70	1,03	
СЧ 28, НВ 178—182	P_x	346	-0,32	0,55	1,05	$v = 200 \dots 500$ м/мин; $S = 0,10 \dots 0,30$ мм/об; $t = 1,0 \dots 3,0$ мм
	P_y	362	-0,26	0,58	0,89	
	P_z	158	-0,01	0,64	0,89	

Для оксидно-карбидной керамики ВОК-60 при точении стали 30ХН2МФА при твердости от НВ 331 до НВ 338 установлены зависимости оптимальной скорости резания (м/мин) от подачи:

$$v_0 = \frac{C_v}{S^{y_0}} \quad (3.32)$$

Значения показателя y_0 и постоянной C_v в зависимости (3.32) даны в табл. 3.11.

Стойкостные зависимости резцов с пластинами из силинита-Р при точении сталей различных марок в состоянии поставки исследовали на токарном станке 16К20 при наружном точении проходными резцами серийного производства. Применяли пластины с радиусом при вершине резца $r = 1,0$ мм. В результате математической обработки экспериментов получена зависимость стойкости от режимов резания вида (3.12).

3.11. Значения показателя u_0 и постоянной C_v в зависимости (3.32) при точении сталей пластинами из ВОК-60

Сталь, НВ	C_v	u_0
30ХМ, 197	18,07	1,2
30ХН2МФА, 331—388	26,49	0,80

Примечание. Условия обработки: $\phi = 45^\circ$; $S = 0,1 \dots 0,3$ мм/об; $v = 100 \dots 300$ м/мин; $t = 0,5 \dots 1,0$ мм.

3.12. Значения C_v , x_T , u_T , z_T при точении силинитом-Р

Обрабатываемая сталь	C_v	x_T	u_T	z_T
45	$74 \cdot 10^4$	2,29	0,33	0,22
40Х	$76 \cdot 10^4$	2,31	0,83	0,10
40ХН	$18 \cdot 10^5$	2,45	0,11	0,48
48А	$11 \cdot 10^5$	1,82	0,36	0,03

Примечание. Условия обработки: $v = 100 \dots 200$ м/мин; $S = 0,2 \dots 0,4$ мм/об; $t = 0,5 \dots 1,5$ мм; диаметр заготовки 50—100 мм; длина заготовки 100—500 мм.

Условия обработки, значения C_v , x_T , u_T и z_T при точении различных сталей приведены в табл. 3.12.

Проведены исследования режущих свойств керамики кортинит (ОНТ-20) и силинит-Р. Резцами с механическим креплением прихватом квадратных пластин из ОНТ-20 и силинита-Р с геометрическими параметрами режущей части $\gamma = -6^\circ$, $\gamma_\phi = -26^\circ$, $\alpha = 6^\circ$, $\lambda = -5^\circ$ обрабатывали на токарно-винторезных станках 16К20 и 1М63 с бесступенчатым регулированием частоты вращения шпинделя образцы из стали 45 и 40Х с НВ 187—207 и серого чугуна СЧ 20 с НВ 180—190. Перед испытаниями корку с заготовок удаляли. Режимы резания при точении стали варьировали в соответствии с данными табл. 3.13.

3.13. Режимы резания при точении стали

Уровни варьирования	v , м/мин	S , мм/об	t , мм
Верхний	500	0,50	1,0
Нижний	250	0,20	0,5

Режимы резания при точении чугуна СЧ 20: $v = 250 \dots 500$ м/мин; $S = 0,20 \dots 0,50$ мм/об; $t = 0,50 \dots 1,0$ мм.

За критерий затупления принимали износ по задней поверхности резцов при точении стали и чугуна $h_3 = 0,40$ мм.

При точении стали 45 с $S = 0,5$ мм/об, $t = 1$ мм, $v = 250 \dots 500$ м/мин стойкость резцов с пластинами из ОНТ-20 в 1,5—2 раза выше, чем стойкость резцов с пластинами из ВОК-60. При $S = 0,2$ мм/об и $t = 0,5$ мм пластины из ВОК-60 имеют некоторое преимущество перед пластинами из ОНТ-20. Подобные результаты имеют место и при точении стали 40Х. Обработка с $t = 0,5$ мм показала, что стойкость керамики обеих марок практически одинакова. При точении с $t = 1,5$ мм стойкость ОНТ-20 в 1,5—2 раза выше, чем стойкость керамики ВОК-60.

Математическая обработка результатов экспериментов позволила установить зависимость стойкости (мин) от параметров режима резания:

$$T = \frac{2,15 \cdot 10^7}{v^{2,55} S^{0,55} t^{0,89}} \quad (3.33)$$

Из анализа экспериментов следует, что если скорость резания в равной степени влияет на стойкость ВОК-60 и ОНТ-20, то стойкость резцов с пластинами из ВОК-60 зависит от глубины резания и подачи в значительно большей степени, чем стойкость резцов с пластинами из ОНТ-20.

При обработке серого чугуна СЧ 20 ($v = 250 \dots 500$ м/мин, $S = 0,5$ мм/об и $t = 0,5 \dots 1,0$ мм) стойкость резцов с пластинами из ОНТ-20 в 1,5—2 раза превышала стойкость резцов с пластинами из ВОК-60. При $S = 0,2$ мм/об преимущества резцов с пластинами из ОНТ-20 по сравнению с резцами с пластинами из ВОК-60 уменьшаются. При точении силинита-Р были получены результаты практически те же, что и при точении ОНТ-20.

Фрезерование. Исследования режущих свойств керамики при торцовом фрезеровании заготовок из СЧ 20 с НВ 200—210 размерами $L \times H \times B = 500 \times 200 \times 100$ мм проводили по схеме симметричного фрезерования на станке 6М82 без СОЖ; ширина обрабатываемой заготовки $B = 100$ мм. Использовали однозубые торцовые фрезы диаметром 200 мм, оснащенные квадратными пластинами из В-3, ВОК-60, ВОК-63. Износостойкость керамики сравнивали с износостойкостью твердых сплавов ВК6, ВК6М, ВК60М, Т15К6, Т8К7.

Геометрические параметры зуба фрезы, оснащенной пластиной из твердого сплава или керамики: $\phi = 45^\circ$; $\gamma = -7^\circ$; $\alpha = 7^\circ$; $\lambda = 5^\circ$; $r = 1$ мм. Режимы резания: 1) при исследовании зависимости $T = f(V)$: $t = 1$ мм; $S_z = 0,2$ мм/зуб; 2) при исследовании зависимости $T = f(S)$: $t = 1$ мм; $v = 582$ м/мин; 3) при исследовании зависимости $T = f(t)$: $v = 582$ м/мин; $S_z = 0,2$ мм/зуб.

В экспериментах измеряли размерный износ и износ h_3 по задней поверхности. Обработку прекращали при $h_3 = 0,4$ мм, когда у обработанной поверхности параметр шероховатости не соответствовал техническим требованиям ($[Ra] = 2,5 \dots 1,25$ мкм).

Анализ результатов показал, что стойкость фрез с пластинами из ВОК-60 и В-3 в 10—14 раз выше стойкости фрез из сплава Т8К7. При $v < 450$ м/мин стойкость фрез с пластинами из В-3 и ВОК-60 примерно одинакова. С увеличением скорости резания ($v > 550$ м/мин) стойкость фрез с пластинами из В-3 больше, чем фрез с пластинами из ВОК-60. При подачах $S \leq 0,10$ мм/зуб стойкости фрез с пластинами из В-3 и ВОК-60 одинаковы. При $S \geq 0,10 \dots 0,50$ мм/зуб наибольшую стойкость имеют фрезы с пластинами из ВОК-60.

Изменение глубин резания в пределах $t = 0,5 \dots 1,25$ мм менее заметно сказывается на стойкости, чем изменение подачи или скорости резания. При $t = 1,5$ мм большую стойкость имеют фрезы с пластинами из ВОК-60. Фрезерование пластинами из керамики с $t > 2$ мм нецелесообразно вследствие значительного числа сколов режущих кромок.

Износ пластин из керамики при фрезеровании чугуна в начальный момент резания невелик. Затем появляются микросколы, который вырастают в бороздки, формирующиеся в основном на участке, более удаленном от вершины пластины. По мере увеличения бороздок могут происходить сколы более крупных участков режущей кромки.

3.14. Диапазон варьирования параметров обработки фрезами с пластинами из керамики

Уровни варьирования	v , м/мин	$a_{ср}$	L	b
Основной	495	0,132	88	2
Верхний	660	0,22	115	3
Нижний	330	0,044	61	1

$$T = \frac{e^{10,4L^{0,35}K_{ст}}}{v^{1,6}a_{ср}^{0,6}b^{0,6}}, \quad (3.34)$$

где L — длина дуги контакта фрезы с заготовкой; $K_{ст} = 0,5$ — коэффициент стойкости при наличии литевой корки на боковых необработанных поверхностях заготовки; v — скорость резания; $a_{ср}$ — средняя толщина среза; b — ширина среза.

Критерий затупления фрезы $h_3 = 0,3$ мм.

Уровни варьирования параметров обработки даны в табл. 3.14.

Испытания пластин из силинита-Р в этих же условиях показали, что режущие свойства торцовых фрез с пластинами из нитридной керамики при обработке серого чугуна практически аналогичны режущим свойствам фрез с пластинами из оксидно-карбидной керамики ВОК-60 и В-3.

Для более эффективного применения торцовых фрез с пластинами из керамики следует разрабатывать и выпускать более жесткие и точные (по исполнению) конструкции инструмента.

Торцовыми фрезами с механическим креплением квадратных пластин (03111—120412) из керамики ОНТ-20, ВОК-60 и силинита-Р обрабатывали заготовки из стали 45 и 40Х с НВ 187—207 и серого чугуна СЧ 20 с НВ 180—190 размерами $250 \times 250 \times 500$ мм. Геометрические параметры режущей части: осевой

передний угол $\gamma = -10^\circ$; радиальный передний угол $\gamma = -6^\circ$; задний угол $\alpha = 6^\circ$.

Испытания проводили на вертикально-фрезерных станках ГФ-250 (частота вращения $n = 80 \dots 3150$ мин⁻¹) и 6И13 (диапазон чисел оборотов $n = 30 \dots 1500$ мин⁻¹). Скорость резания при обработке стали 45 фрезами с пластинами из кортинита $v = 190 \dots 450$ м/мин; подача на зуб $S_z = 0,05 \dots 0,20$ мм/зуб; глубина резания $t = 1 \dots 3$ мм. Критерий затупления $[h_3] = 0,4$ мм.

Математической обработкой результатов экспериментов установлена зависимость стойкости (мин) фрез с квадратными пластинами из кортинита от параметров режимов фрезерования:

$$T = \frac{6,85 \cdot 10^6}{v^{1,87} a^{0,025} B^{0,07} t^{0,27}}, \quad (3.35)$$

где $a_{ср}$ — сечение среза, мм; B — ширина фрезеруемой поверхности, мм; t — глубина резания, мм.

Анализ результатов показал, что наибольшее влияние на стойкость оказывает скорость резания.

Стойкость фрез с пластинами из ВОК-60 и силинита-Р практически равна стойкости инструмента с пластинами из ОНТ-20 при нескольких больших значениях стойкости фрез с пластинами из силинита-Р. При наличии корки стойкость значительно снижается (почти вдвое), и необходимо учитывать это, вводя коэффициент $K_T = 0,5$.

При фрезеровании стали 45 ($v = 190 \dots 450$ м/мин, $S_z = 0,05 \dots 0,20$ мм/зуб и $t = 1 \dots 3$ мм) стойкость фрез была относительно невысокой и нестабильной.

В целях разработки расчетных зависимостей для определения стойкости фрез и интенсивности изнашивания при назначении режимов резания исследовали фрезерование заготовок из серого чугуна СЧ 20 с НВ 160—280 размерами $B \times H = 180 \times 240$ мм на вертикально-фрезерном станке 6Н12П. Применяли однозубую фрезу диаметром 250 мм с механическим креплением квадратных пластин. Геометрические параметры режущей части фрезы составляли: $\gamma = \alpha = 6^\circ$; $\kappa = 72^\circ$; $r = 1,2$ мм. За критерий затупления фрезы был принят износ пластин из керамики по задним поверхностям $[h_3] = 0,40$ мм.

При изучении влияния скорости резания на стойкость фрезы скорости изменяли от 125 до 1100 м/мин. При $S_z = 0,25$ мм/зуб и $t = 0,5$ мм доминирует износ по задним вспомогательным поверхностям.

Влияние подачи на стойкость пластин исследовали при $S_z = 0,05 \dots 0,6$ мм/зуб, $v = 400$ м/мин и $t = 0,5$ мм. С увеличением подачи снижается стойкость пластин и возрастает интенсивность изнашивания; износ 0,4 мм при $S_z = 0,1$ мм/зуб отмечается после

110 мин работы, при $S_z = 0,4$ мм/зуб — после 20 мин, а при $S_z = 0,6$ мм/зуб — после 5 мин. При $S_z > 0,5$ мм/зуб пластины часто скалываются.

Влияние глубины резания изучалось при $v = 400$ м/мин и $S_z = 0,2$ мм/зуб. Глубина резания t изменялась от 0,2 до 2 мм. Наибольшая стойкость отмечена у пластин из ВОК-60 при глубине резания 1 мм. Фрезерование чугуна керамикой при $t > 1,5$ мм нецелесообразно вследствие значительных сколов на режущих кромках пластин.

Математической обработкой данных исследования получена зависимость для расчета стойкости (мин) режущей керамики при фрезеровании серого чугуна:

$$T = 1,33 \cdot 10^3 v^{-0,9} S_z^{1,27} \quad (3.36)$$

и интенсивности изнашивания

$$\frac{\Delta h_a}{\Delta t} = 8,85 \cdot 10^{-2} v^{1,04} S_z^{1,27} \quad (3.37)$$

При фрезеровании поперечные пазы до пятнадцатого рабочего хода не оказывают заметного влияния на стойкость, а один продольный паз приводит к увеличению износа на 20 %, при фрезеровании же с тремя продольными пазами на десятом рабочем ходе наблюдается выкрашивание режущих кромок.

Апробирование полученных закономерностей проводили при чистовом фрезеровании блока цилиндров двигателя ЧТЗ из серого чугуна, фрезой диаметром 400 мм с числом зубьев $z = 26$. Геометрические параметры режущей части фрезы были такими же, как и в экспериментах с однозубой фрезой. Инструмент был установлен в автоматическую линию ЛЗ10. Фреза имела одну пластину с зачистной кромкой длиной $l = 12$ мм. Режим резания: $v = 410$ м/мин, $t = 0,5 \dots 0,8$ мм, $S_z = 0,21$ мм/зуб ($S_{мин} = 1700$ мм/мин), ширина фрезеруемой поверхности $B = 346$ мм; длина одного рабочего хода $L = 1100$ мм. При допустимом износе пластин $h_a = 0,25$ мм стойкость фрезы составила 160 заготовок на одну режущую кромку. Параметр шероховатости обработанной поверхности на блоках $Ra = 7 \dots 10$ мкм.

При фрезеровании на многоцелевом станке заготовок из высокопрочного чугуна торцовые фрезы по ТУ 2-035-624—78 с пластинами из керамики ВОК-60 имели стойкость, в 2 раза большую (118 мин), чем фрезы с пластинами из ВК8. Режимы обработки: $n = 630$ мин⁻¹; $S_z = 0,04$ мм/зуб; $t = 0,5$ мм. Применение керамики ВОК-60 позволило обойтись без шлифования. Фрезы выпускают серийно инструментальные заводы Минстанкопрома.

4. РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ ИНСТРУМЕНТАМИ, ОСНАЩЕННЫМИ СТМ И КЕРАМИКОЙ

4.1. Режимы резания инструментами, оснащенными СТМ

Общие рекомендации. В табл. 4.1—4.3 даны (в значительной мере усредненные) диапазоны скоростей и подач, которые следует корректировать в каждом конкретном случае и проверять экспериментально.

При обработке торцовыми фрезами, оснащенными СТМ, в отличие от фрезерования инструментом, оснащенным твердым сплавом, всегда следует стремиться к достижению максимально воз-

4.1. Рекомендуемые диапазоны режимов резания инструментом, оснащенным композитом, при точении и растачивании

Обрабатываемые материалы и покрытия	Характер резания	Композит	v , м/мин	S_z , мм/об	t , мм
Стали конструкционные и легированные, инструментальные и подшипниковые, HRC ₂ 40—58	Без удара	05; 01; 02	50—180	0,03—0,20	0,05—3,0
	С ударом	10; 10Д	40—120	0,03—0,10	0,05—1,0
Стали быстрорежущие, инструментальные, цементуемые, HRC ₂ 58—70	Без удара	01; 02	50—120	0,03—0,1	0,05—0,8
	С ударом	10; 10Д	40—100	0,03—0,07	0,05—0,4
Чугуны серые и высокопрочные, HB 150—300	Без удара	05; 01; 02	400—1000	0,03—0,5	0,05—3,0
	С ударом	10; 10Д; 05; 01; 02	300—800	0,03—0,2	0,05—2,0
Чугуны отбеленные, HB 400—600	Без удара	05; 01; 02	50—200	0,03—0,5	0,05—2,0
	С ударом	10; 10Д	40—90	0,03—0,10	0,05—1,0
Твердые сплавы с содержанием кобальта не менее 15 %, HRA 80—86	Без удара	10; 01; 02; 10Д	5—20	0,08—0,1	0,05—1,0
	По корке	01; 02; 10; 10Д	40—100	0,03—0,15	0,1—0,5
Износостойкие покрытия на основе никеля (плазменное нанесение), HRC ₂ 47—57					

Примечание. Резцы со ступенчатым расположением пластин позволяют увеличить глубину резания до 6—8 мм.

4.2. Рекомендуемые диапазоны режимов резания инструментом, оснащенным композитом, при торцовом фрезеровании

Обрабатываемые материалы	Композит	v , м/мин	S_z , мм/зуб	t , мм
Стали конструкционные и легированные нетермообработанные, $HRC_{\text{с}} \leq 30$ (в состоянии поставки)	10; 01; 10Д	400—900	0,01—0,1	0,05—2,0
Стали конструкционные, легированные, инструментальные закаленные, $HRC_{\text{с}} 35—55$	10; 01; 10Д	200—600	0,01—0,1	0,05—1,2
Стали закаленные, цементуемые, $HRC_{\text{с}} 55—70$	10; 01; 10Д	80—300	0,01—0,1	0,05—0,8
Стали быстрорежущие, $HRC_{\text{с}} 60—70$	01	20—40	0,01—0,1	0,05—0,8
Чугуны серые и высокопрочные, HB 150—300 (в том числе по литейной корке)	05; 10; 10Д; 01	800—3000	0,01—0,1	0,05—6,0
Чугуны отбеленные, закаленные, HB 400—600, $HRC_{\text{с}} 40—60$	10; 01; 10Д; 05	200—800	0,01—0,1	0,05—4,0

Примечание. Фрезы с трехступенчатым расположением пластин из композита позволяют увеличить глубину резания при обработке чугунных отливок на соответствующем мощном оборудовании до 8—10 мм.

4.3. Рекомендуемые диапазоны режимов резания инструментом, оснащенным поликристаллическим алмазом, при точении

Обрабатываемые материалы	v , м/мин	S_z , мм/об	t , мм
Алюминий и алюминиевые сплавы	600—3000	0,03—0,3	0,05—1,0
Алюминиевые сплавы (10—20 % кремния)	500—1500	0,03—0,3	0,05—1,0
Медь и медные сплавы (бронзы, латуни, баббиты и др.)	300—1000	0,03—0,3	0,05—1,0
Пластмассы, пластинки, стеклопластики, углепластики, твердая резина, различные композиты	200—1000	0,03—0,3	0,05—1,0
Полуспеченные керамика и твердые сплавы	100—300	0,03—0,15	0,05—1,0
Спеченные твердые сплавы	15—40	0,03—0,10	0,05—1,0
Древесностружечные материалы	2000—4000	0,03—0,3	—
Горные породы (песчаник, гранит)	50—400	0,03—0,3	0,05—1,0

Примечания: 1. Даны рациональные скорости резания, обеспечивающие повышение интенсивности съема припуска. Алмазный инструмент в отличие от инструмента из КНБ можно эксплуатировать и на низких скоростях, при которых работает твердосплавный инструмент, обеспечивая многократное повышение стойкости.

2. При фрезеровании скорости могут быть увеличены до 2 раз.

3. Глубина резания древесностружечных материалов определяется шириной фрез или пил.

возможной скорости резания и уменьшению подачи на зуб. Это объясняется следующими причинами:

подача на зуб и частота вращения шпинделя в равной мере влияют на значение минутной подачи, т. е. на производительность фрезерования, однако подача на зуб в значительно большей степени, чем скорость резания, влияет на стойкость фрезы, оснащенной СТМ, и надежность их работы;

при увеличении скорости резания шероховатость обработанной поверхности уменьшается, а при увеличении подачи растет;

при увеличении скорости резания сила резания уменьшается, а при увеличении подачи на зуб растет, т. е. снижается точность обработки.

При точении вначале устанавливают глубину резания (исходя из припуска) и подачу (исходя из максимальной производительности при заданной шероховатости обработанной поверхности), а затем назначают скорость резания, обеспечивающую необходимую стойкость резца. Наибольшее влияние скорость резания оказывает на стойкость резцов из композита при точении закаленных сталей и твердых чугунов, а на стойкость резцов из поликристаллических алмазов — при точении спеченных твердых сплавов. Наименьшее влияние скорость резания оказывает при точении мягких чугунов резцами из композита и цветных сплавов — резцами из алмаза.

При точении с ударом, особенно сталей и чугунов высокой твердости, наличие радиуса при вершине $r = 0,8 \dots 1,0$ мм является необходимым условием надежной работы резцов из СТМ. Например, достаточно высокую работоспособность в таких условиях имеют круглые неперетачиваемые пластины из композита 01 (диаметр 3,6 мм) с $r = 1,8$ мм, хотя этот композит для точения с ударом в общем не предназначен. Уменьшение радиуса до 0,2—0,4 мм нецелесообразно, так как это резко повышает опасность выхода инструмента из строя вследствие скола или выкрашивания, в то время как уменьшение радиальной составляющей силы резания при этом незначительно. Кроме того, такое уменьшение приводит к существенному увеличению шероховатости обработанной поверхности.

В тяжелых условиях резания (с ударом, по корке и т. п.) режущей кромке инструмента из композита рекомендуется придать скругленную форму с радиусом $\rho = 30 \dots 50$ мкм либо сделать стандартную защитную фаску шириной 0,05 ... 0,20 мм на передней поверхности под углом $\gamma = -20^\circ$.

Весьма эффективна фаска (ленточка) шириной не более 0,1 мм на задней поверхности ($\alpha = 0$), имитирующая площадку износа. Эта фаска снижает интенсивность изнашивания инструмента на стадии приработки, уменьшает вероятность выкрашивания режущей кромки и оказывает выглаживающее действие на обработан-

ную поверхность. Влияние такой фаски возрастает при увеличении переднего угла, т. е. при переходе от отрицательных γ к положительным.

Весьма перспективным методом является изготовление режущих пластин любого размера и профиля с помощью медного электрода требуемой формы на автоматических электроэрозионных установках «Дикамат 500S» фирмы «Эдер» (Австрия). Достигается производительность около 50 шт. алмазных пластин в смену (точность до ± 2 мкм; параметр шероховатости $Ra \approx 0,10$ мкм).

В целом очевидна тенденция расширения применения пластин специальных форм для инструмента из СТМ в целях точной обработки фасонных поверхностей деталей из труднообрабатываемых материалов, когда размерная стойкость аналогичного твердосплавного инструмента низка.

Фрезерование сталей и чугунов инструментами, оснащенными композитом. Рекомендации по режимам резания при фрезеровании сталей и чугунов торцовыми фрезами, оснащенными поликристаллическими синтетическими СТМ на основе нитрида бора (композитами), являются обобщением нормативных материалов. Они приведены для условий работы на станках, соответствующих требованиям эффективной эксплуатации этого высокопроизводительного инструмента.

Критерий затупления фрез — износ по задней поверхности зубьев $h_z = 0,3 \dots 0,4$ мм при тонкой и чистовой обработке и $h_z = 0,8$ мм при получистовой обработке.

Геометрические параметры режущей части фрез характеризуются отрицательными передними углами $\gamma = -6 \dots -10^\circ$ при $\alpha = 6 \dots 12^\circ$; $\varphi = 30 \dots 75^\circ$, $\varphi_1 = 10 \dots 15^\circ$. Ножи регулируемых фрез выполняют либо с зачищающей кромкой, параллельной обрабатываемой поверхности, шириной $b_f = 0,6 \dots 1,2$ мм, либо с сопряжением главной и вспомогательной режущих кромок по радиусу $r = 20 \dots 50$ мм. Режущие неперетачиваемые пластины круглой формы могут быть с отрицательной фаской 0,2 мм под углом 20° к передней поверхности.

В табл. 4.4—4.7 приведены значения подач в зависимости от параметра шероховатости обработанной поверхности, конструкции и геометрических параметров фрезы, обрабатываемых материалов. Подача на зуб $S_z = S_{zT} K_{bs}$, где S_{zT} — табличное значение подачи; K_{bs} — поправочный коэффициент в зависимости от ширины зачищающей кромки b_f . В табл. 4.8—4.16 даны скорости резания в зависимости от подачи и глубины резания, твердости обрабатываемого материала и материала режущей части.

Поправочные коэффициенты на подачу K_{bf} зависят от ширины режущей кромки b_f , параллельной обработанной поверхности:

Ширина кромки b_f , мм	0,4	0,6	0,8	1,2
Коэффициент K_{bf}	0,6	0,8	1,0	1,2

4.4. Подача S_z (мм/зуб) при фрезеровании торцовыми регулируемыми фрезами со вставными ножами с переходной режущей кромкой, параллельной обрабатываемой поверхности

Обрабатываемые материалы	Главный угол в плане φ , °	Параметр шероховатости обработанной поверхности Ra , мкм *			
		0,16—0,32	0,32—0,63	0,63—1,25	1,25—2,5
Закаленные стали и чугуны, HRC ₃ 40—70	30	0,04—0,06	0,06—0,08	0,08—0,12	0,12—0,20
	45	—	0,02—0,04	0,05—0,08	0,08—0,12
	60	—	—	0,03—0,06	0,06—0,10
	75	—	—	0,02—0,05	0,05—0,08
Серый чугун, HB 150—300	30	—	0,03—0,06	0,04—0,10	0,10—0,20
	45	—	До 0,03	0,03—0,08	0,08—0,12
	60	—	—	0,02—0,05	0,05—0,10
	75	—	—	0,02—0,04	0,04—0,08
Незакаленные стали: HRC ₃ 10—30 HB 110—320	30	—	0,03—0,06	0,04—0,10	0,10—0,20
	45	—	До 0,03	0,03—0,08	0,08—0,12
	60	—	—	0,02—0,05	0,05—0,10
	75	—	—	0,02—0,04	0,04—0,08

* Меньшие значения Ra соответствуют более высокой твердости обрабатываемого материала.

4.5. Подача S_z (мм/зуб) при фрезеровании торцовыми регулируемыми фрезами со вставными ножами с радиусным сопряжением режущих кромок

Обрабатываемые материалы	Радиус при вершине r , мм	Параметр шероховатости обработанной поверхности Ra , мкм *			
		0,16—0,32	0,32—0,63	0,63—1,25	1,25—2,5
Стали незакаленные, HRC ₃ 10—30	20—50	—	0,02—0,04	0,04—0,10	0,10—0,20
Закаленные стали и чугуны, HRC ₃ 40—70	20—50	0,02—0,04	0,04—0,06	0,06—0,12	0,12—0,20
Серый чугун, HB 150—300	20—50	—	0,02—0,04	0,04—0,10	0,10—0,20

* Меньшие значения Ra соответствуют более высокой твердости обрабатываемого материала.

4.6. Подача S_z (мм/зуб) при фрезеровании торцовыми регулируемыми фрезами с механическим креплением неперегачиваемых пластин круглой формы

Обрабатываемые материалы	Радиус при вершине r , мм	Параметр шероховатости обработанной поверхности R_a , мкм *			
		0,16—0,32	0,32—0,63	0,63—1,25	1,25—2,5
Стали незакаленные, HRC ₉ 10—30	1,8 (композит 01)	—	0,01	0,01—0,04	0,04—0,08
	2,8 (композит 10Д)	—	—	—	—
Закаленные стали и чугуны, HRC ₉ 40—70	1,8 (композит 01)	0,01	0,01—0,03	0,02—0,08	0,06—0,12
	2,8 (композит 10Д)	0,01	0,01—0,03	0,02—0,08	0,06—0,12
Серый чугун, HB 150—300	1,8 (композит 01)	—	0,01—0,02	0,02—0,05	0,05—0,10
	2,8 (композит 10Д)	—	—	—	—
	3,5 (композит 05)	—	—	—	—

* Меньшие значения R_a соответствуют более высокой твердости обрабатываемого материала и большим диаметрам режущих пластин.

4.7. Подача S_z (мм/зуб) при фрезеровании торцовыми нерегулируемыми фрезами с механическим креплением неперегачиваемых пластин круглой формы

Обрабатываемые материалы	Радиус при вершине r , мм	Параметр шероховатости обработанной поверхности R_a , мкм *		
		0,32—0,63	0,63—1,25	1,25—2,5
Стали незакаленные, HRC ₉ 10—30	1,8 (композит 01)	0,005	0,01—0,02	0,02—0,05
	2,8 (композит 10Д)			
Закаленные стали и чугуны, HRC ₉ 40—70	1,8 (композит 01)	0,01	0,01—0,04	0,04—0,06
	2,8 (композит 10Д)			
Серый чугун, HB 150—300	1,8 (композит 01)	—	0,01—0,02	0,02—0,04
	2,8 (композит 10Д)			
	3,5 (композит 05)			

* Меньшие значения R_a соответствуют более высокой твердости обрабатываемого материала и большим диаметрам режущих пластин.

4.8. Скорость резания v (м/мин) незакаленной стали с HRC₉ 10—30 торцовыми фрезами со вставными ножами, оснащенными композитом 01, и механическим креплением пластин круглой формы из композита 01

t , мм	S_z , мм/зуб				
	0,02	0,04	0,08	0,12	0,20
0,05	800	780	710	660	600
0,1	790	770	700	650	590
0,2	780	760	690	640	580
0,3	770	750	680	630	570
0,4	760	740	670	620	—
0,5	750	730	660	610	—

Примечание. Период стойкости $T = 90$ мин.

4.9. Скорость резания v (м/мин) незакаленной стали с HRC₉ 10—30 торцовыми фрезами с ножами, оснащенными композитом 10, и с механическим креплением пластин круглой формы из композита 10Д

t , мм	S_z , мм/зуб				
	0,02	0,04	0,08	0,12	0,20
0,05	850	830	780	730	670
0,1	840	820	770	720	650
0,2	830	810	750	700	630
0,4	810	770	730	680	600
0,8	770	730	680	620	—
1,6	690	650	580	—	—

4.10. Скорость резания v (м/мин) закаленной стали с HRC₉ 35—55 (кроме быстрорежущей) торцовыми фрезами с ножами, оснащенными композитом 01, и механическим креплением круглых пластин из композита 01

t , мм	S_z , мм/зуб				
	0,02	0,04	0,08	0,12	0,20
0,05	560	540	500	460	400
0,1	550	530	490	450	390
0,2	540	510	480	440	370
0,3	530	510	470	420	350
0,4	520	500	460	400	330
0,5	510	490	450	380	310

4.11. Скорость резания v (м/мин) закаленной стали с HRC₉ 35—55 (кроме быстрорежущей) торцовыми фрезами с ножами, оснащенными композитом 10, и механическим креплением пластин круглой формы из композита 10Д

t , мм	S_z , мм/зуб				
	0,02	0,04	0,08	0,12	0,20
0,05	590	570	540	510	470
0,1	580	560	530	500	450
0,2	560	540	500	460	430
0,4	540	520	470	430	390
0,8	500	480	430	—	—
1,2	460	420	—	—	—

4.12. Скорость резания v (м/мин) закаленной стали с HRC₉ 55—70 (кроме быстрорежущей) торцовыми фрезами с ножами, оснащенными композитом 01, и механическим креплением круглых пластин из композита 01

t, мм	S _z , мм/зуб				
	0,01	0,02	0,04	0,08	0,12
0,05	240	220	200	180	160
0,10	230	210	190	170	150
0,2	220	200	180	160	140
0,3	210	190	170	150	130
0,5	200	170	150	130	—

4.14. Скорость резания v (м/мин) серого чугуна с HB 150—300 торцовыми фрезами с ножами и пластинами из композитов 01, 10 и 10Д

t, мм	S _z , мм/зуб				
	0,02	0,04	0,08	0,12	0,20
0,05	2900	2700	2400	2100	1700
0,1	2850	2600	2300	2000	1600
0,2	2800	2500	2200	1900	1500
0,4	2700	2400	2100	1800	1400
0,8	2600	2300	2000	1700	—
1,5	2500	2200	1900	—	—

4.16. Поправочные коэффициенты на скорость резания (K_{T_0}) в зависимости от периода стойкости T инструмента при обработке сталей

Обрабатываемая сталь	T, мин					
	60	90	120	180	240	300
Незакаленная, HRC ₉ 10—30	1,2	1,0	0,9	0,75	0,6	0,5
Закаленная, HRC ₉ 35—55	1,15	1,0	0,85	0,7	0,55	0,4
Закаленная, HRC ₉ 55—70	1,1	1,0	0,8	0,6	0,4	0,3

4.13. Скорость резания v (м/мин) закаленной стали с HRC₉ 55—70 (кроме быстрорежущей) торцовыми фрезами с ножами, оснащенными композитом 10, и механическим креплением круглых пластин из композита 10Д

t, мм	S _z , мм/зуб				
	0,01	0,02	0,04	0,08	0,12
0,05	260	240	220	210	200
0,1	250	230	210	200	190
0,2	240	220	200	190	180
0,4	230	210	190	180	160
0,8	220	200	180	170	—
1,0	200	180	160	—	—

4.15. Скорость резания v (м/мин) серого чугуна с HB 150—300 торцовыми фрезами с механическим креплением круглых пластин из композита 05

t, мм	S _z , мм/зуб				
	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10
0,1	2500	2300	2100	1900	1800
0,2	2450	2250	2000	1800	1600
0,5	2400	2200	1800	1600	1400
1,0	2300	1900	1600	1400	1200
1,5	2200	1800	1400	1200	1100
2,0	2000	1600	1350	1150	1050
2,5	1900	1500	1300	1100	1000
3,0	1800	1450	1250	1050	950
6,0	1500	1350	1200	1000	—

Поправочные коэффициенты на скорость резания (K_{HRC_9}) при $T = 90$ мин в зависимости от твердости обрабатываемого материала для незакаленной стали (табл. 4.8 и 4.9)

HRC ₉	10	20	30
K_{HRC_9}	1,0	0,9	0,8

для закаленной стали (табл. 4.10 и 4.11)

HRC ₉	35	40	45	50	55
K_{HRC_9}	1,0	0,85	0,7	0,55	0,4

для закаленной стали (табл. 4.12 и 4.13)

HRC ₉	55	60	65	70
K_{HRC_9}	1,0	0,85	0,7	0,5

Поправочные коэффициенты на скорость резания (K_{HB}) в зависимости от твердости чугуна (табл. 4.14 и 4.15):

HB	150	200	250	300
K_{HB}	1,0	0,85	0,7	0,55

Поправочные коэффициенты на скорость резания K_{T_0} в зависимости от периода стойкости инструмента при обработке серого чугуна (табл. 4.16):

T, мин	90	120	180	240	300	360	420
K_{T_0}	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	0,3	0,25

Точение и фрезерование пластмасс алмазным инструментом. Рекомендации по режимам резания при точении и фрезеровании пластмасс инструментом, оснащенным поликристаллами синтетических алмазов АСПК и АСБ имеют ряд особенностей, связанных со специфическими свойствами пластмасс. Низкая теплопроводность пластмасс является причиной концентрации теплоты, выделяющейся в процессе резания, в малых объемах режущего клина, прилегающих к режущей кромке инструмента. В результате на обработанной поверхности нередко появляются прижоги; значительная доля теплоты отводится в инструмент, изменяя его стойкость. Вместе с тем допустимый износ инструмента значительно меньше, чем при обработке металлов, и ограничивается прочностью пластмасс, так как затупленная режущая кромка вызывает сколы кромок обрабатываемых заготовок на входе и выходе инструмента.

Режимы резания, прежде всего скорость, также ограничиваются необходимостью постоянного отсоса из зоны резания пыли и вредных газов, выделяющихся при обработке пластмасс, в целях обеспечения необходимых санитарных норм по запыленности воздуха в рабочем помещении.

4.17. Группы обрабатываемости пластмасс точением

№ группы обрабатываемости	Пластмасса	Типовые представители пластмассы
1	Термопластичная без наполнителя	Винипласт, фторопласт, капрон, полиэтилен, оргстекло и др.
2	Термопластичная с металлическим порошковым наполнителем	ПТ-3, ФБМ, НАМИ
3	Термореактивная с газозадушенным наполнителем	Пенопласт, поропласт (поролон)
4	Термореактивная с порошковым наполнителем	Пресс-порошки, аминопластик, феопласты
5	Термореактивная с волокнистым наполнителем	Волокниты, стекловолокониты
6	Термореактивная со слоистым и листовым наполнителем на основе: бумаги, ткани стекловолокна	Гетинаксы, текстолиты Стеклотекстолиты, стеклопластики, органоластики

Предложена [7] классификация пластмасс по группам обрабатываемости точением и фрезерованием (табл. 4.17—4.18). Пластмасса состоит из связующего вещества, наполнителя, красителя, отвердителя, пластификатора и смазывающих добавок (некоторые из перечисленных компонентов в отдельные виды пластмасс не входят).

Пластмассы, входящие в одну группу обрабатываемости, близки по составу, свойствам и агрегатному состоянию; закономерности их резания одинаковы. Силы при резании пластмасс в 10—30 раз меньше, чем при резании металлов, поэтому перегрузки станков по мощности не бывает, хотя обработка осуществляется на высоких скоростях. Поскольку стружка пластмасс многих видов обладает высокими абразивными свойствами, направляющие станков должны быть надежно защищены.

Рекомендуемые геометрические параметры резцов, оснащенных АСПК и АСБ: $\gamma = 0 \dots 2^\circ$; $\alpha = 15 \dots 20^\circ$; $\varphi = 40 \dots 45^\circ$; $\varphi_1 = 20^\circ$; $r(b_1) = 0,2 \dots 0,8$ мм, а параметры торцовых фрез: $\gamma = 0 \dots -5^\circ$; $\alpha = \alpha_1 = 18^\circ$; $\varphi = 45^\circ$; $\varphi_1 = 15^\circ$; $r = 1,5 \dots 2$ мм. Критерий затупления резцов при чистовом точении $h_s = 0,10 \dots 0,14$ мм; критерий затупления ножей торцовых фрез $h_s = 0,3$ мм.

4.18. Классификация обрабатываемости фрезерованием пластмасс в зависимости от структуры их наполнителя

Структура наполнителя	№ группы обрабатываемости наполнителя		Типовые представители пластмассы
	органического	неорганического	
<i>Термопластичные пластмассы</i>			
Порошки	1	3	Полиэтилены НД; пресс-материалы типа 501-73; графитопласты ФНК-7, АТН-2
Волокна	2	3	Композиции ФУС15, Ф400С15
Газы	1	—	Вспененный полистирол ПСВ
Фольга	—	3	Фольгированные полиэтилены, термополы
<i>Термореактивные пластмассы</i>			
Без наполнителя	2	2	Эпоксидно-фенольная смола ЭФ32-301
Порошки	3	4	Феопласты, графитопласты АТМ, ФКН, пресс-порошки ОТН, УДП
Волокна	3	4	Органо-, стекло- и асболокниты
Ткани	3	4	Текстолиты, стеклотекстолиты, асбестотекстолиты, асбестоцемент
Гранулы (зерна)	3	4	Полонанполненные ЭДС, СПС, СПБ
Листы	3	4	Гетинаксы, органогетинаксы, асбестогетинаксы
Фольга	—	4	Фольгированные слоистые пластики
Газы	2	3	Пенопласты ПЭ-2, К-40, пенофеопласты ФК-20, пенополиуретаны П2-101
Проволока	—	5	Боропластики, армометаллотекстолит

Примечания: 1. Волокна, не связанные между собой, любой длины, хаотично расположенные в полимере.

2. Ткани — полотнища из повторяющихся переплетений нитей пряжи органического или неорганического происхождения.

3. Листы — плоские, в виде пластин тела из однородной массы органического или неорганического материала, в том числе из волокнистого, например картона, бумаги, асбеста и пр.

4. Асбестоцемент условно отнесен в четвертую группу обрабатываемости.

Значения подачи при точении приведены в табл. 4.19 в зависимости от требуемого параметра шероховатости обработанной поверхности и уточняются в каждом конкретном случае исходя из условий обработки. Скорости резания и поправочные коэффициенты даны в табл. 4.20, 4.21. Для расчета скорости точения (м/мин) следует пользоваться зависимостью

$$v_T = \frac{C_v}{T m t^x v_s^{y_0}}$$

где C_v , m , x_v , y_v — соответственно постоянный коэффициент и показатели степени, зависящие от обрабатываемого и инструментального материала (табл. 4.22). В данном случае $m = 1$, и при заданном режиме резания стойкость алмазного реза

$$T = \frac{C_v}{v_x t^x v_y S_0^y}$$

Следует отметить, что при точении пластмасс влияние подачи и глубины резания на стойкость весьма незначительно; определяющее влияние оказывает скорость точения (м/мин):

$$v = v_T K_{0v} K_{Tv}$$

Тангенциальная составляющая силы резания (Н) определяется по формуле

$$P_z = C_{Pz} S_0^y P_{zt}^x P_z$$

4.19. Подача S_0 при точении пластмасс резами, оснащенными АСПК и АСБ

Пластмасса	Инструментальный материал	Rz	Ra	S_0 , мм/об
		мкм		
Гетинакс	АСБ; АСПК	5	1,0	$\leq 0,1$
		5—15	1—4	0,1—0,2
		15—25	4—6	0,2—0,3
		25—35	6—9	0,3—0,4
Стеклотекстолит	АСБ	20	5,0	$\leq 0,1$
		20—25	5—6	0,1—0,2
		25—30	6—8	0,2—0,3
		30—40	8—10	0,3—0,4
	АСПК	10	2,5	$\leq 0,1$
		10—15	2,5—4	0,1—0,2
		15—20	4—5	0,2—0,3
		20—30	5—8	0,3—0,4
Стеклопластик	АСБ	10	2,5	$\leq 0,1$
		10—20	2,5—5	0,1—0,2
		20—25	5—6	0,2—0,3
		25—30	6—8	0,3—0,4
	АСПК	5	1,0	$\leq 0,1$
		5—15	1—4	0,1—0,2
		15—20	4—5	0,2—0,3
		20—25	5—6	0,3—0,4

4.20. Скорость резания v_T (м/мин) пластмасс резами, оснащенными АСПК и АСБ

Материал инструментальный (обрабатываемый)	t , мм	S_0 , мм/об			
		0,1	0,2	0,3	0,4
АСПК (гетинакс)	$\leq 0,5$	264	246	237	230
	0,5—1,0	250	233	224	218
АСБ (гетинакс)	$\leq 0,5$	440	410	394	383
	0,5—1,0	416	388	372	362
	1,0—1,5	402	376	361	351
	1,5—2,0	393	367	352	342
АСПК (стеклотекстолит)	$\leq 0,5$	413	385	370	359
	0,5—1,0	390	364	350	340
АСБ (стеклотекстолит)	$\leq 0,5$	459	428	411	399
	0,5—1,0	434	404	388	378
	1,0—1,5	420	392	376	365
	1,5—2,0	411	383	368	357
АСПК (стеклопластик)	$\leq 0,5$	383	352	335	324
	0,5—1,0	357	329	313	302
АСБ (стеклопластик)	$\leq 0,5$	383	352	335	324
	0,5—1,0	357	329	313	302
	1,0—1,5	343	316	301	290
	1,5—2,0	333	307	292	280

4.21. Поправочные коэффициенты на скорость точения K_{Tv} в зависимости от периода стойкости T , мин

Обрабатываемая пластмасса	Инструментальный материал	$\frac{T}{K_{Tv}}$			
		900	1080	1260	1440
Гетинакс	АСБ	1,2	1,0	0,86	0,75
	АСПК	1,350	2,025	2,700	3,375
Стеклотекстолит	АСБ	2,00	1,33	1,00	0,80
	АСПК	480	540	1200	1440
Стеклопластик	АСБ	1,12	1,00	0,45	0,38
	АСПК	720	900	1080	1440
Стеклопластик	АСБ	1,25	1,00	0,83	0,62
	АСПК	360	480	720	1440
Стеклопластик	АСБ	1,33	1,00	0,67	0,33
	АСПК	540	720	1440	1620
		1,33	1,00	0,50	0,44

4.22. Коэффициент и показатели степени в формуле скорости резания при точении пластмасс резцами, оснащенными АСПК и АСБ

Обрабатываемая пластмасса	Инструментальный материал	v , м/мин	S_0 , мм/об	t , мм	C_v	m	x_v	y_v
Гетинакс	АСПК	200—600	0,1—0,4	0,2—1,0	535 500	1,0	0,08	0,10
»	АСБ			0,5—2,0	357 000		0,08	0,10
Стеклопластик	АСПК	200—600	0,1—0,4	0,2—1,0	280 000	1,0	0,08	0,10
»	АСБ			0,5—2,0	186 000		0,08	0,10
Стеклотекстолит	АСПК	200—600	0,1—0,4	0,2—1,0	195 000	1,0	0,1	0,12
»	АСБ			0,5—2,0	130 000		0,1	0,12

4.23. Коэффициент и показатели степени в формуле тангенциальной составляющей силы резания при точении пластмасс резцами, оснащенными АСПК и АСБ

Обрабатываемая пластмасса	Инструментальный материал	v , м/мин	S_0 , мм/об	t , мм	C_{P_2}	x_{P_2}	y_{P_2}
Гетинакс	АСПК	200—600	0,1—0,4	0,2—1,0	310	0,95	0,68
»	АСБ	200—600	0,1—0,4	0,5—2,0	310	0,95	0,68
Стеклотекстолит	АСПК	200—600	0,1—0,4	0,2—1,0	450	0,87	0,83
»	АСБ	200—600	0,1—0,4	0,5—2,0	450	0,87	0,83
Стеклопластик	АСПК	200—600	0,1—0,4	0,2—1,0	210	0,97	0,70
»	АСБ	200—600	0,1—0,4	0,5—2,0	210	0,97	0,70

где C_{P_2} , y_{P_2} , x_{P_2} — соответственно постоянный коэффициент и показатели степени, зависящие от обрабатываемого и инструментального материалов (табл. 4.23). Эффективная мощность резания (кВт)

$$N_p = \frac{P_2 v}{61 200}$$

Подачи на зуб при торцовом фрезеровании пластмасс фрезами с ножами, оснащенными поликристаллами синтетических алмазов, приведены в табл. 4.24, а скорости резания — в табл. 4.25—4.28.

Для расчета скорости резания (м/мин) при торцовом фре-

4.24. Подача S_z (мм/зуб) при фрезеровании пластмасс инструментом, оснащенным АСПК и АСБ

Параметр шероховатости обработанной поверхности Ra, мкм	Текстолит, гетинакс	Стеклотекстолит, асбестоцемент, конструкционный стеклопластик
1,25—2,5	≤0,04	≤0,03
2,5—5,0	0,04—0,08	0,03—0,06
5,0—10,0	0,08—0,25	0,06—0,15
10,0—16,0	0,25—0,35	0,15—0,25
16—20	0,35—0,55	0,25—0,50

зеровании следует пользоваться зависимостями

$$v_T = \frac{C_v}{T^{m_t} x_v^y S_0^y B^{U_v}}$$

где C_v , x_v , y_v , U_v — соответственно постоянный коэффициент и показатели степени, зависящие от обрабатываемого и инструментального материала (табл. 4.29);

$$v = v_T K_{T_v} K_{B/D_v}$$

где K_{T_v} , K_{B/D_v} — поправочные коэффициенты.

Тангенциальная составляющая силы резания определяется по формуле

$$P_z = P_{z_1} q,$$

где P_{z_1} — тангенциальная составляющая силы резания при работе однозубым инструментом (табл. 4.30); q — число зубьев фрезы, одновременно участвующих в резании;

$$P_{z_1} = C_{P_2} S_0^{y_{P_2}} t^{x_{P_2}} v^{z_{P_2}} B^{U_{P_2}}$$

4.25. Скорость резания v_T конструкционного стеклопластика фрезами с ножами, оснащенными АСБ

Диаметр фрезы, мм	Число зубьев z	Толщина срезаемого слоя t, мм	v_T , м/мин, при S_z , мм/зуб									
			0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,10	0,15	0,25	0,4	0,6
63	6	1,0	3053	1866	1399	1140	856	595	446	311	222	166
		1,5	2853	1746	1308	1067	799	556	417	290	208	156
		2,0	2729	1668	1250	1020	765	532	400	277	200	149
100	8	1,0	2102	1285	964	786	598	410	307	214	153	115
		1,5	1969	1204	903	736	552	384	288	200	143	107
		2,0	1877	1147	860	701	527	366	274	191	136	103
125	8	1,0	1759	1075	806	657	493	343	257	179	128	96
		1,5	1651	1009	757	617	462	322	241	168	120	90
		2,0	1575	962	722	588	442	307	230	160	115	86
160	10	1,0	1474	901	676	551	413	287	216	150	105	80
		1,5	1385	847	635	521	387	270	202	140	101	76
		2,0	1320	807	605	494	370	257	193	135	96	73
200	14	1,0	1216	743	557	454	340	237	178	124	89	66
		1,5	1139	696	522	425	319	222	165	116	83	62
		2,0	1087	665	498	406	305	202	159	110	79	59

4.26. Скорость резания v_T стеклотекстолита фрезами с ножами, оснащенными АСБ

Диаметр фрезы, мм	Число зубьев z	Толщина срезаемого слоя t , мм	v_T при S_z , мм/зуб									
			0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,10	0,15	0,25	0,4	0,6
63	6	1,0	1271	899	736	635	518	402	328	254	201	169
		1,5	1146	811	662	574	469	363	296	230	181	148
		2,0	880	622	508	440	359	278	226	175	139	114
100	8	1,0	1037	733	599	519	423	328	268	207	164	134
		1,5	822	581	475	411	336	260	212	165	130	106
		2,0	718	508	414	359	293	227	185	144	114	93
125	8	1,0	942	666	544	471	384	298	243	188	149	122
		1,5	746	528	431	373	305	236	187	149	118	96
		2,0	651	461	376	326	266	206	168	130	103	84
160	10	1,0	858	607	495	429	348	271	221	171	136	111
		1,5	677	478	391	339	277	214	175	136	108	87
		2,0	594	420	343	297	242	188	153	119	94	77
200	14	1,0	768	543	444	384	314	243	198	154	121	99
		1,5	610	432	352	305	249	193	158	122	96	79
		2,0	534	378	309	267	218	169	137	107	84	69

4.27. Скорость резания v_T асбоцемента фрезами с ножами, оснащенными АСБ

Диаметр фрезы, мм	Число зубьев z	Толщина срезаемого слоя t , мм	v_T при S_z , мм/зуб									
			0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,10	0,15	0,25	0,4	0,6
63	6	1,0	1398	1016	843	739	613	483	402	319	256	218
		1,5	1214	883	732	641	532	421	349	277	223	185
		2,0	1102	802	665	583	484	381	317	251	202	168
100	8	1,0	1224	890	739	647	537	425	352	277	224	186
		1,5	1064	774	642	563	467	369	306	241	195	162
		2,0	969	704	585	512	425	336	279	219	178	147
125	8	1,0	1149	835	693	607	504	399	331	261	211	175
		1,5	1001	728	604	529	439	349	288	229	183	152
		2,0	907	660	547	480	398	317	261	206	166	138

Продолжение табл. 4.27

Диаметр фрезы, мм	Число зубьев z	Толщина срезаемого слоя t , мм	v_T при S_z , мм/зуб									
			0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,10	0,15	0,25	0,4	0,6
160	10	1,0	1078	783	651	570	473	375	310	246	198	164
		1,5	940	683	568	497	412	325	271	215	172	143
		2,0	851	618	513	449	373	294	244	194	156	129
200	14	1,0	1008	733	608	533	442	349	289	228	185	153
		1,5	878	638	530	464	385	304	252	200	161	133
		2,0	796	578	480	420	349	276	229	181	146	121

4.28. Поправочные коэффициенты на скорость резания K_{T_v} и K_{B/D_v} при фрезеровании пластмасс торцовыми фрезами с ножами, оснащенными АСБ

Обрабатываемый материал	T , мин	K_{T_v}	B/D	K_{B/D_v}	Обрабатываемый материал	T , мин	K_{T_v}	B/D	K_{B/D_v}	
Конструкционный стеклопластик	720	1,0	0,8	1,0	Стекло-текстолит	1680	0,06	0,4	1,35	
	960	0,47	0,7	1,11		—	—	0,3	1,53	
	1200	0,26	0,6	1,26		—	—	0,2	1,85	
	1440	0,16	0,5	1,45		Асбо-цемент	720	1,0	0,8	1,0
	1680	0,11	0,4	1,73			960	0,55	0,7	1,04
—	—	0,3	2,17	1200	0,35		0,6	1,08		
—	—	0,2	2,99	1440	0,24		0,5	1,14		
—	—	—	—	1680	0,18		0,4	1,21		
Стекло-текстолит	720	1,0	0,8	1,0	—	—	0,3	1,32		
	960	0,38	0,7	1,06	—	—	0,2	1,47		
	1200	0,18	0,6	1,13						
	1440	0,10	0,5	1,22						

Примечание. Обозначения: B — ширина заготовки, мм; D — диаметр фрезы, мм.

4.29. Коэффициент и показатели степени в формуле скорости резания при торцовом фрезеровании инструментом из АСБ

Обрабатываемый материал	C_v	m	y_v	x_v	U_v
Стеклотекстолит	$5,82 \cdot 10^{12}$	3,33	0,50	0,53	0,43
Конструкционный стеклопластик	$8,33 \cdot 10^{10}$	2,63	0,71	0,16	0,79
Асбоцемент	$7,09 \cdot 10^8$	2,06	0,46	0,34	0,28

4.30. Коэффициент и показатели степени в формуле тангенциальной составляющей силы резания при торцовом фрезеровании однозубым инструментом из АСБ

Обрабатываемый материал	C_{P_z}	y_{P_z}	x_{P_z}	U_{P_z}	z_{P_z}
Стеклотекстолит	88	0,58	0,83	0,09	-0,06
Конструкционный стеклопластик	78	0,56	0,86	0,08	-0,04
Асбоцемент	85	0,60	0,87	0,08	-0,03

$$q = \frac{(\arcsin B/D) z}{180^\circ} \text{ при симметричном торцовом фрезеровании.}$$

Эффективная мощность резания (кВт)

$$N_e = \frac{P_z v}{61 \cdot 200}$$

Следует отметить, что диаметр фрезы на скорость и силу резания не влияет. Влияние составляющих режима резания на стойкость алмазного инструмента при фрезеровании пластмасс значительно больше, чем при точении.

4.31. Расстояния, на которые выполняются подвод, врезание и перебег, при симметричном фрезеровании торцовыми фрезами

Ширина фрезеруемой поверхности В, мм	Диаметр фрезы D, мм							
	63	80	100	125	160	200	250	315
10	3	3	3	3	3	4	5	6
16	3	3	3	3	4	4	5	6
20	3	3	3	4	4	5	5	6
25	6	5	5	5	5	5	6	6
30	7	7	6	5	6	5	6	6
40	10	9	8	8	7	7	7	7
50	13	12	10	10	9	9	8	7
65	—	20	17	14	11	11	10	9
80	—	—	24	19	15	14	11	11
100	—	—	—	29	23	19	19	14
125	—	—	—	—	36	27	22	18
160	—	—	—	—	—	45	34	27
200	—	—	—	—	—	—	55	41
250	—	—	—	—	—	—	—	67

Расстояния, на которые выполняются подвод, врезание и перебег при симметричном фрезеровании, приведены в табл. 4.31.

По обрабатываемости фрезерованием пластмассы можно сгруппировать следующим образом.

Пластмасса

- 1 группа Термопластичная без наполнителя и с органическим наполнителем, исключая труднообрабатываемую (низкое качество обработки).
- 2 * Термопластичная с неорганическим наполнителем и труднообрабатываемая с органическим наполнителем; термореактивная без наполнителя.
- 3 * Термореактивная с органическим наполнителем и термопластичная с неорганическим наполнителем.
- 4 * Термореактивная с органическим наполнителем.
- 5 * Термореактивная с наполнителем из одно- или многожильной металлической проволоки.

Поправочные коэффициенты на скорость точения K_{0v} зависят от типа резца (табл. 4.20):

Резец	Проходной, $\varphi = 45^\circ$	Проходной, $\varphi = 60^\circ$	Подрезной	Отрезной	Расточный
K_{0v}	1,0	0,9	0,8	0,7	0,9

Точение алюминиевых сплавов алмазными резцами. Алюминиевые сплавы подразделяют на литейные и деформируемые. Литейные алюминиевые сплавы применяют для получения отливок всех видов, так как они имеют большую жидкотекучесть и малую линейную усадку. Для тонкостенных отливок сложной формы (например, блока двигателя внутреннего сгорания) применяют алюминий-кремниевые литейные сплавы. В зависимости от химического состава литейные алюминиевые сплавы подразделяются на пять групп:

- I — сплавы на основе системы алюминий—магний АЛ8, АЛ13, АЛ22, АЛ23, АЛ23-1, АЛ27, АЛ27-1, АЛ28, АЛ29;
- II — сплавы на основе системы алюминий—кремний АЛ2, АЛ4, АЛ4В, АЛ9, АЛ9В;
- III — сплавы на основе системы алюминий—медь АЛ7, АЛ7В, АЛ19;
- IV — сплавы на основе системы алюминий—кремний—медь АЛ3, АЛ3В, АЛ5, АЛ6, АЛ10В, АЛ14В, АЛ15В;
- V — сплавы на основе системы алюминий — прочие компоненты АЛ1, АЛ11, АЛ16В, АЛ17В, АЛ18В, АЛ20, АЛ24, АЛ25, АЛ26, АЛ30.

Наихудшей обрабатываемостью отличаются сплавы с повышенным содержанием кремния, при точении и фрезеровании их особенно эффективен алмазный инструмент. Поэтому рекомендации разработаны применительно к сплавам V группы АЛ25 и АЛ26 [6].

Рекомендуемые геометрические параметры резцов, оснащенных АСПК и АСБ: $\psi = 0 \dots -5^\circ$; $\alpha = \alpha_1 = 12^\circ$; $\lambda = 0$; $\varphi = 40^\circ$; $\varphi_1 = 20^\circ$ для проходных и $\varphi = \varphi_1 = 50^\circ$ для упорных (подрезных) резцов; длина переходной режущей кромки (или радиус при вершине резца) $l_f (r) = 0,1 \dots 0,6$ мм.

Значения подач при точении приведены в табл. 4.32 в зависимости от требуемой шероховатости обработанной поверхности, а скорости резания даны в табл. 4.33. Для расчета следует пользоваться следующими зависимостями: скорость точения (табл. 4.34) $v = \frac{C_v}{T^{m_1} x_v S_0^{y_v}}$; тангенциальная составляющая силы

(Н) резания (табл. 4.35) $P_t = C_{P_2} v^{P_2} t^{P_3} S_0^{y_{P_2}}$; эффективная мощность (кВт) резания $N = \frac{P_t v}{61200}$. В данном случае $m = 1$, и при заданном режиме резания стойкость (мин) алмазного резца $T = \frac{C_v}{v t^x v S_0^y}$.

4.32. Подача при точении алюминий-кремниевых сплавов резцами, оснащенными АСПК и АСБ

Обрабатываемый материал	Инструментальный материал	Rz	Ra	S ₀ , мм/об
		мкм		
АЛ25	АСПК	— 10—20 20—40	≤1,25 1,25—2,5 2,5—5,0 —	≤0,1 0,1—0,2 0,2—0,3 0,3—0,4
	АСБ	— 10—15 15—30 30—40	≤2,5 2,5—3,7 3,7—7,0 7,0—10,0	≤0,1 0,1—0,2 0,2—0,3 0,3—0,4
АЛ26	АСПК	— 10—20 20—32	≤0,9 0,9—2,2 2,2—5,0 5,0—8,0	≤0,1 0,1—0,2 0,2—0,3 0,3—0,4
	АСБ	— 10—25 25—40	≤1,25 1,25—2,5 2,6—6,2 6,2—10,3	≤0,1 0,1—0,2 0,2—0,3 0,3—0,4

4.33. Скорость резания (м/мин) при точении алюминий-кремниевых сплавов резцами, оснащенными АСПК и АСБ

1. Резцы из АСПК — сплав АЛ25

Толщина срезаемого слоя t, мм	S ₀ , мм/об															
	0,1				0,2				0,3				0,4			
	при T, мин															
0,1	360	480	600	720	360	480	600	720	360	480	600	720	360	480	600	720
0,5	579	435	348	290	455	342	274	229	394	296	237	198	357	268	215	179
1,0	304	229	184	154	239	180	144	120	207	156	125	105	188	141	113	94
	231	174	140	117	181	136	109	91	157	118	95	80	143	107	86	72

2. Резцы из АСБ — сплав АЛ25

Толщина срезаемого слоя t, мм	S ₀ , мм/об															
	0,1				0,2				0,3				0,4			
	при T, мин															
0,5	304	254	218	191	239	200	172	151	207	173	149	131	190	158	136	119
1,0	231	193	166	146	181	151	130	114	157	131	113	99	144	120	103	90
1,5	198	165	142	125	155	130	112	98	135	113	97	85	122	102	88	77
2,0	176	147	126	111	139	116	100	88	120	100	86	76	109	91	78	68

3. Резцы из АСПК — сплав АЛ26

Толщина срезаемого слоя t , мм	S_0 , мм/об															
	0,1				0,2				0,3				0,4			
	при T , мин															
0,1	180	240	300	360	180	240	300	360	180	240	300	360	180	240	300	360
0,5	568	426	341	285	415	312	250	209	259	245	208	174	304	228	183	152
1,0	298	224	180	150	218	164	132	110	182	137	110	92	160	120	96	80
	226	170	136	114	124	104	84	84	138	104	84	70	121	91	73	61

112

4. Резцы из АСБ — сплав АЛ26

Толщина срезаемого слоя t , мм	S_0 , мм/об															
	0,1				0,2				0,3				0,4			
	при T , мин															
0,5	125	150	175	200	125	150	175	200	125	150	175	200	125	150	175	200
1,0	298	249	214	188	218	182	156	137	182	152	131	115	160	133	114	100
1,5	226	189	162	142	165	138	119	105	133	111	96	84	121	101	87	76
2,0	192	160	138	120	140	117	101	89	117	98	84	74	103	86	74	65
	171	143	123	108	125	105	90	79	105	88	76	67	92	77	66	58

4.34. Коэффициент и показатели степени в формуле скорости резания при точении алюминий-кремниевых сплавов резцами, оснащенными АСПК и АСБ

Обрабатываемый материал	Инструментальный материал	t , мм	C_v	γ_0
АЛ25	АСПК	$\leq 1,0$	37 100	0,35
	АСБ	$\leq 2,0$	26 000	0,35
АЛ26	АСПК	$\leq 1,0$	14 420	0,45
	АСБ	$\leq 2,0$	10 000	0,45

Примечание. $v \leq 700$ м/мин; $S_0 \leq 0,4$ мм/об; $m = 1$; $x_0 = 0,4$.

4.35. Коэффициент и показатели степени в формуле тангенциальной составляющей силы резания при точении алюминий-кремниевых сплавов резцами, оснащенными АСПК и АСБ

Обрабатываемый материал	Инструментальный материал	t , мм	C_{Pz}	x_{Pz}	γ_{Pz}	z_{Pz}
АЛ25	АСПК	До 1,0	242	0,74	0,56	0,08
	АСБ	До 2,0	78	0,80	0,59	0,28
АЛ26	АСПК	До 1,0	144	0,63	0,48	0,10
	АСБ	До 2,0	66	0,64	0,53	0,26

Примечание. $v \leq 700$ м/мин; $S_0 \leq 0,4$ мм/об.

4.2. Режимы резания инструментами, оснащенными керамикой

В табл. 4.36, 4.37 даны рекомендуемые диапазоны режимов резания резцами и фрезами с пластинами из керамики различных марок для широкого спектра обрабатываемых материалов.

Для обработки конструкционных сталей с НВ 179—260, закаленных сталей с НС 25—65, серых и высокопрочных чугунов резцами с пластинами из ВОК-60 и В-3 разработаны [8] общемашиностроительные нормативы по точению и определению расхода инструмента. Порядок выбора этапов работ по нормативам приведен в табл. 4.38.

По табл. 1.5 определяем марку керамики в зависимости от обрабатываемого материала, его твердости и вида обработки. Для обработки конструкционных углеродистых и легированных сталей с НВ 260 следует применять керамику ВОК-60, а для обработки этих же сталей с НВ > 260 — керамику ВОК-60 и В-3. Для обработки серых, ковких и высокопрочных чугунов рекомендуется применять керамику ВОК-60.

113

4.36. Рекомендуемые диапазоны режимов резания резами с пластинами из керамики

Обрабатываемый материал	Твердость	v , м/мин	S , мм/об	t , мм
Сталь: качественная конструкционная	HB \leq 229	300—700	0,5—0,15	0,5—1,5
		150—300	0,5—0,10	1,0—5,0
конструкционная легированная	HB \leq 269	300—700	0,5—0,15	0,5—1,5
		100—300	0,5—0,10	1,0—4,0
улучшенная	HB 229—380	300—600	0,40—0,10	0,5—1,0
		100—350	0,35—0,10	1,0—3,0
цементуемая вакаленная	HRC ₉ 36—45	100—300	0,25—0,10	0,5—1,5
		70—180	0,60—0,10	1,0—3,0
		HRC ₉ 48—57	60—150	0,15—0,05 0,15—0,08
	HRC ₉ 57—64	40—120	0,12—0,04 0,15—0,08	0,3—1,0 1,0—2,0
Чугун: серый	HB 143—278	300—900	0,5—0,10	0,5—1,5
		200—500	0,5—0,10	1,0—5,0
ковкий	HB 140—369	200—400	0,35—0,10	0,5—1,5
		100—250	0,40—0,15	1,0—3,0
	HB 163—269	200—100	0,35—0,10	0,5—1,5
		150—250	0,40—0,15	1,0—3,0
отбеленный	HB 400—650	40—150 15—40	0,15—0,08 0,30—0,10	0,5—1,5 1,0—2,5

4.37. Рекомендуемые режимы обработки торцовыми фрезами с пластинами из ВОК-60, В-3

Обрабатываемый материал	Вид обработки	Режимы резания		
		v , м/мин	S , мм/зуб	t , мм
Сталь, HRC ₉ 35—45	Чистовая	180—600	0,003—0,015	0,2—0,8
	Получистовая	180—600	0,015—0,10	0,5—1,6
Чугун, HB 169—239	Чистовая	300—800	0,02—0,05	0,5—1,5
	Получистовая	300—500	0,02—0,05	0,5—2,0
		300—500	0,04—0,15	0,5—2,0

4.38. Последовательность выбора режимов резания при точении резами и определения расхода керамики

№ этапа	Этап работ, расчетная формула	Исходные данные
1	Выбор марки керамики	Марка и твердость обрабатываемого материала
2	Выбор типа державки резца, угла в плане ϕ	Операция; форма обрабатываемой поверхности; жесткость системы станок — приспособление — инструмент — заготовка
3	Выбор формы режущей пластины	То же
4	Выбор геометрических параметров режущей части пластин	Обрабатываемый материал; характер обработки; жесткость системы станок — приспособление — инструмент — заготовка
5	Выбор размера сечения державки резца	Паспорт станка; тип державки; размер пластины
6	Выбор подачи S_0 и корректировка по паспорту станка	Требуемый параметр шероховатости обрабатываемого материала; припуск, радиус при вершине r
7	Выбор скорости резания v , мощности резания N , проверка N по паспорту станка	Материал; припуск; подача; стойкость; паспорт станка
8	Расчет рекомендуемой частоты вращения шпинделя и корректировка по паспорту станка $n = \frac{1000v}{\pi D}$	Скорость резания, диаметр детали; паспорт станка
9	Расчет длины рабочего хода суппорта; $L_{р.х} = L_{рез} + y + L_{доп}$	Длина обрабатываемой поверхности $L_{рез}$, расстояние, на которое перемещается суппорт при врезании (y) и перебеге ($L_{доп}$) резца
10	Расчет основного времени обработки; $t_0 = \frac{L_{р.х}}{S_0 n_{ст}}$	$L_{р.х}$; $S_0 \approx S_0 n_{ст}$
11	Расчет числа расходуемых пластин $n_{п}$ на 100 ч основного времени	Форморазмеры пластин; стойкость T_p
12	Расчет числа державок, опорных пластин и накладных стружколомов на 100 ч основного времени	Расход пластин $n_{п}$; форморазмер пластин
13	Укрупненный расчет расхода в зависимости от трудоемкости механической обработки	Группа оборудования; тип производства; серийность; суммарная трудоемкость механической обработки

4.39. Резцы с механическим креплением многогранных пластин из керамики для наружного точения

Операция	Резец проходной				
	подрезной прямой с трехгранной пластиной $\varphi = 90^\circ$	прямой с квадратной пластиной $\varphi = 75^\circ$	подрезной прямой с квадратной пластиной $\varphi = 45^\circ$	подрезной отогнутой с квадратной пластиной $\varphi = 45^\circ$	подрезной отогнутой с ромбической пластиной $\varphi = 95^\circ$ (ТУ 2-035-861—82)
Наружное продольное точение с образованием фаски под углом ξ	+	+	+	+	+
Поперечное точение			+		
Точение конической поверхности с выводом резца под углом $\xi, ^\circ$:					
75	+				+
60	+	+			+
45	+	+	+	+	+
30	+	+	+	+	+
25	+	+	+	+	+
Точение конической поверхности с врезанием резца под углом $\xi, ^\circ$:					
30			+		
10	+		+		+
Подрезка торца	+			+	+

Примечания: 1. Знаком «+» обозначены рекомендуемые типы державок резцов.
2. Резцы по ГОСТ 26611—85 и ГОСТ 26613—85.

О технологических возможностях резцов, оснащенных пластинами из керамики, при обработке основных форм поверхностей тел вращения на станках с ручным управлением можно судить по данным, приведенным в табл. 4.39, 4.40.

При равных возможностях резцов следует выбирать державки с большими углами в плане $\varphi = 75 \dots 90^\circ$ (при нормальной жесткости системы станок—приспособление—инструмент—заготовка) и $\varphi = 45^\circ$ (для повышенной жесткости системы станок—приспособление—инструмент—заготовка). Это особенно необходимо учитывать при точении валов, осей.

Форму пластин выбирают по табл. 4.41 по наивысшему баллу для каждого вида обработки. Пользуясь табл. 4.41 и 4.42, можно окончательно выбрать тип резца.

Геометрические параметры режущей части резцов определяются конструктивными параметрами режущих пластин, их установкой

4.40. Резцы с механическим креплением многогранных пластин из керамики для растачивания

Операция	Резец расточный			
	прямой с квадратной пластиной $\varphi = 45^\circ$	отогнутый с квадратной пластиной $\varphi = 75^\circ$	отогнутый с трехгранной пластиной $\varphi = 90^\circ$	отогнутый с ромбической пластиной $\varphi = 95^\circ$
Продольное растачивание	+	+	+	+
Подрезка торца при подаче к центру				+
Растачивание конической поверхности с врезанием резца под углом $\xi, ^\circ$:				
75				+
60		+	+	+
45		+	+	+
30	+	+	+	+
25	+	+	+	+
Растачивание конической поверхности с выводом резца под углом $\xi, ^\circ$:				
30				+
25	+			+

Примечания: 1. Знаком «+» обозначены рекомендуемые типы державок резцов.
2. Наименьший диаметр растачиваемого отверстия 40 мм.
3. Резцы по ГОСТ 26612—85 и ТУ 2-035-861—82.

4.41. Оценка работоспособности керамических пластин различной формы

Характер обработки	Форма стандартных пластин			
	трех-гранная	квадратная	ромбическая	круглая
Тонкое точение	5	5	5	4
Чистовое точение:				
без удара	5	5	5	4
с ударом	2	4	3	5
Получистовое точение	3	5	4	4

4.42. Ширина и угол наклона фаски на режущей пластине

Обрабатываемый материал	Твердость	Угол наклона фаски $\gamma_1, ^\circ$	Ширина фаски $f, \text{мм}$
Сталь конструкционная, углеродистая и легированная	HB 260	0 ... -15	0,2
	HRC 25—40	-15 ... -20	0,2—0,4
	HRC 40—50	-20	0,4—0,8
	HRC > 50	-30	0,4—0,8
Чугун серый и высокопрочный	HB ≤ 269	-20 ... -30	0,2—0,4
	HB > 269		0,4—0,8

4.43. Подачи при точении резцами с пластинами из ВОК-60 и В-3

Обрабатываемый материал	HRC	Глубина резания $t, \text{мм}$	Подача $S_0, \text{мм/об}$
Сталь конструкционная легированная	≤ 40	0,5—1,0	0,3—0,2
		1,0—1,5	0,25—0,12
		1,5—2,5	0,15—0,1
	40—50	0,5—1,0	0,15—0,1
		1,0—1,5	0,12—0,08
		50—65	0,1—0,3
Чугун серый высокопрочный		0,3—1,5	0,4—0,3*
		1,5—4,0	0,3—0,2

Примечание. При работе на станках с ЧПУ в целях повышения надежности обработки при врезании и выходе без заранее подготовленной фаски, а также при контурной обработке при переходе цилиндр—торец назначать подачи в пределах 50 % табличных значений, а затем увеличивать до 125 %.

* Возможно применение подач до 0,6 мм/об при повышенной жесткости технологической системы.

в державке резца (табл. 4.42). Сечения державок резцов должны соответствовать присоединительным размерам паза резцедержателя станка или переходных втулок-резцедержателей. При работе с рекомендуемыми в табл. 4.43 продольными подачами (при достаточной жесткости системы СПИД и работе с пластинами, имеющими $r = 1,2 \text{ мм}$) достигается $Ra \leq 1,25 \text{ мкм}$ (при работе острым инструментом) и $Ra \leq 2,5 \text{ мкм}$ (при работе затупленным инструментом) при точении сталей с $HB \leq 250$ и чугунов и соответственно $Ra \leq 0,63 \text{ мкм}$ и $Ra \leq 2,5 \text{ мкм}$ при точении закаленных сталей. При работе с пластинами, имеющими другие радиусы при вершине или условия работы, отличные от рекомендуемых, подачи следует подбирать экспериментально, принимая нормативные значения за базовые.

Скорость и мощность, потребные для резания, определяют по табл. 4.44—4.46. В табл. 4.44 и 4.46 даны значения скорости и мощности резания при средней стойкости режущей кромки пластин $T = 50 \text{ мин}$ (точение сталей с $HB 179—260$) и $T = 100 \text{ мин}$ (точение чугуна с $HB 169—229$). В табл. 4.45 приведены рекомендуемые скорости резания закаленных сталей при средней стойкости режущей кромки $T = 50 \text{ мин}$.

При стойкости, отличной от приведенной в таблицах, скорость резания и мощность следует умножать на поправочный коэффициент K_{T_p} , приведенный в табл. 4.47 для сталей с $HB 179—260$ и чугунов. При растачивании или поперечном точении табличные значения скорости и мощности резания следует умножить на коэффициент $K_{обр}$, зависящий от вида обработки (табл. 4.48).

При работе на автоматизированном оборудовании, станках с ЧПУ и многих производственных модулях, где требуется вероятность безотказной работы $P \gg 0,5$, следует уточнить значения стойкости для заданной вероятности безотказной работы, умножив $P = 0,5$ на коэффициент K_{TR} , значения которого приведены в табл. 4.49 для сталей с $HB 179—260$ и чугунов. Затем корректируют (повышают) стойкость для заданного P путем изменения скорости резания.

Выбранные режимы резания следует откорректировать в соответствии с паспортными данными станка.

Основное (машинное) время обработки T_0 рассчитывают в соответствии с откорректированными значениями подач $S_{0 \text{ ст}}$ и частоты вращения шпинделя станка $n_{\text{ст}}$.

В табл. 4.50 приведены расчетные значения времени работы пластин из ВОК-60 до их смены в зависимости от вероятности безотказной работы при различных скоростях резания стали 45 и чугуна СЧ 21. Режимы резания: по стали — $t = 0,8 \text{ мм}$; $S_0 = 0,2 \text{ мм/об}$; по чугуну — $t = 1 \text{ мм}$; $S_0 = 0,25 \text{ мм/об}$.

4.44. Скорость и мощность при точении сталей с НВ 179—260 резами с пластинами из ВК-60 и В-3

Глубина резания t_p , мм	v_c , м/мин N, кВт при S_0 , мм/об, до							
	0,08	0,12	0,16	0,2	0,25	0,3	0,35	
$\leq 0,5$	$\frac{720-570}{1,26-0,99}$	$\frac{640-500}{1,55-1,21}$	$\frac{580-455}{1,89-1,48}$	$\frac{545-425}{2,09-1,64}$	$\frac{510-400}{2,29-1,79}$	$\frac{480-380}{2,51-1,96}$	$\frac{460-360}{2,63-2,06}$	
0,5—1,0	$\frac{560-440}{1,97-0,77}$	$\frac{500-390}{2,30-0,90}$	$\frac{450-360}{2,96-1,16}$	$\frac{425-300}{3,25-1,27}$	$\frac{400-310}{4,02-1,58}$	$\frac{375-295}{4,75-1,86}$	$\frac{360-280}{5,38-2,10}$	
1,0—1,5	$\frac{485-380}{2,58-1,35}$	$\frac{430-340}{3,17-1,65}$	$\frac{390-310}{3,85-2,00}$	$\frac{365-290}{4,23-2,20}$	$\frac{345-270}{4,85-2,53}$	$\frac{325-255}{5,28-2,75}$	$\frac{315-245}{5,79-3,02}$	
1,5—2,5	$\frac{435-340}{3,88-1,81}$	$\frac{390-300}{4,77-2,23}$	$\frac{355-280}{5,79-2,72}$	$\frac{330-260}{6,44-3,02}$	$\frac{310-245}{7,32-3,44}$	$\frac{290-255}{7,94-3,73}$	$\frac{280-220}{8,70-4,09}$	

Примечания: 1. Коэффициент $K_{ц0} = 1$.
2. Пропуск — однородный, без включений.

Режимы резания инструментами, оснащенными СТМ и керамикой

4.45. Скорость точения закаленных сталей резами с пластинами из ВК-60

HRC	Толщина срезаемого слоя, мм	v_c , м/мин, при S_0 , мм/об *										
		0,05	0,08	0,1	0,12	0,15	0,2	0,25	0,3			
25—40	0,5—1,0	—	—	—	—	—	330—310	310—290	280—260	—	—	—
	1,0—1,5	—	—	—	380—310	320—300	300—280	280—260	—	—	—	
	1,5—2,5	—	—	330—310	210—290	280—260	—	—	—	—	—	
40—50	0,5—1,0	—	—	260—240	230—210	190—170	—	—	—	—	—	
	1,0—1,5	—	270—260	230—210	290—170	—	—	—	—	—	—	
50—65	0,1—0,3	—	140—120	120—100	90—70	—	—	—	—	—	—	
	0,3—0,5	140—120	120—100	90—70	—	—	—	—	—	—	—	

* Скорость дана для $T_p = 50$ мин.

4.46. Скорость и мощность при точении серого чугуна с HB 169—222 резцами с пластинами из ВСК-60 и В-3

Толщина срезаемого слоя t , мм	v, м/мин при S_p , мм/об, не более N, кВт							
	0,08	0,12	0,16	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
До 0,5	$\frac{644-504}{0,93-0,73}$	$\frac{599-469}{1,08-0,85}$	$\frac{553-433}{1,36-1,06}$	$\frac{491-385}{1,52-1,19}$	$\frac{463-363}{1,56-1,22}$	$\frac{429-336}{1,63-1,27}$	$\frac{406-318}{1,66-1,30}$	$\frac{384-300}{1,71-1,35}$
0,5—1,0	$\frac{519-407}{1,53-0,59}$	$\frac{486-380}{1,79-0,69}$	$\frac{452-353}{2,22-0,88}$	$\frac{407-318}{2,59-1,02}$	$\frac{362-283}{2,50-0,98}$	$\frac{322-252}{2,50-0,98}$	$\frac{282-221}{2,35-0,92}$	$\frac{249-194}{2,25-0,88}$
1,0—2,0	$\frac{370-300}{2,21-0,87}$	$\frac{362-283}{2,70-1,05}$	$\frac{350-280}{3,50-1,37}$	$\frac{322-252}{4,12-1,62}$	$\frac{282-221}{3,96-1,55}$	$\frac{260-203}{4,11-1,61}$	$\frac{237-185}{3,96-1,55}$	$\frac{209-164}{5,89-1,52}$
2,0—3,0	$\frac{333-261}{2,97-1,55}$	$\frac{316-247}{3,57-1,86}$	$\frac{305-239}{4,59-2,39}$	$\frac{282-221}{5,51-2,88}$	$\frac{266-208}{4,61-2,94}$	$\frac{237-185}{5,67-2,92}$	$\frac{203-159}{5,22-2,72}$	$\frac{186-146}{5,29-2,77}$
3,0—4,0	$\frac{305-239}{3,65-2,14}$	$\frac{284-230}{4,42-2,60}$	$\frac{277-217}{5,59-3,29}$	$\frac{243-190}{6,37-3,74}$	$\frac{215-168}{6,13-3,61}$	$\frac{198-155}{6,42-3,77}$	$\frac{186-146}{6,42-3,77}$	$\frac{167-133}{6,48-3,80}$

Примечания: 1. Коэффициент $K_{до} = 1$.
2. Припуск — однородный, без включений.

4.47. Коэффициент стойкости K_{T_p} в зависимости от скорости резания и коэффициент расхода пластин K_p в зависимости от стойкости

Коэффициент	Стойкость, мин					
	До 20	20	40	50	100	120
K_{T_p} : сталь с HB 179—260	1,4	1,35	1,2	1,0	0,67	0,6
чугун	2,0	1,5	1,4	1,3	1,0	0,7
K_p	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,4

За критерий изнашивания принят износ по задней поверхности $h_z = 0,4$ мм.

Приведенные в таблицах данные могут быть использованы при определении периода регламентированной смены инструмента для заданной надежности работы инструмента.

4.48. Поправочный коэффициент $K_{обр}$ в зависимости от вида обработки

Обработка	$K_{обр}$
Поперечное точение при d_{min}/d_{max} :	
0—0,5	1,35
0,5—0,7	1,25
0,7—1,0	1,05
Растачивание отверстий диаметром d , мм:	
$\triangleleft 75$	0,85
$\triangleright 75$	1,0

Определение расхода инструмента. За предельно допустимые значения износа пластин из керамики можно принять ориентировочно износ по задней поверхности для сталей ($h_{zmax} = 0,3$ мм) и чугунов ($h_{zmax} = 0,4$ мм); в ряде случаев указанные значения могут быть превышены при сохранении достаточно высокой надежности обработки, в других случаях надежность резко падает уже при $h_z = 0,15$. Наиболее частые виды отказа — «чешуйчатый»

скол и поломки пластины.

К определению предельно допустимого износа на каждой операции в крупносерийном и массовом производстве следует подходить индивидуально, а затем рассчитывать потребность в инструментах по результатам эксперимента.

Приведенные в табл. 4.51—4.53 нормы расхода пластин, державок и деталей крепления являются ориентировочными и предназначены для укрупненных расчетов исходя из 100 ч основного (машинного) времени или определенной трудоемкости меха-

4.49. Коэффициент стойкости K_{TR} в зависимости от вероятности безотказной работы резцов P

v , м/мин	Обрабатываемый материал	K_{TR} для P				
		0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
200—350	Сталь, НВ 179—260	1,0	0,97	0,94	0,91	0,86
	Чугун	1,0	0,89	0,77	0,63	0,43
350—450	Сталь, НВ 179—260	1,0	0,94	0,87	0,79	0,77
	Чугун	1,0	0,90	0,80	0,67	0,59
> 450	Сталь, НВ 179—260	1,0	0,92	0,89	0,72	0,66
	Чугун	1,0	0,94	0,87	0,80	0,69

4.50. Стойкость резцов с пластинами из **ВОК-60** и **В-3** при различных скоростях резания в зависимости от вероятности безотказной работы P

P	v , м/мин *			
	200	300	400	500
0,5	140,0/66,0	35,7/38,0	38,8/26,0	7,1/16,0
0,6	135,3/58,35	34,9/33,8	34,6/23,7	6,65/15,45
0,7	130,3/50,25	34,1/29,4	30,19/21,17	6,1/14,88
0,8	124,5/40,74	33,2/24,2	24,9/18,25	5,6/14,20
0,9	116,4/27,54	31,9/17,0	17,7/14,20	4,8/13,25
1,0	48,0/—	20,9/—	—	—/5,3

* В числителе — при обработке незакаленных сталей, в знаменателе — при обработке чугуна.

4.51. Расход многогранных пластины из керамики на 100 ч основного времени

Форма пластины	Диаметр вписанной окружности d	Толщина пластины s	Среднее число фактически работающих граней	Суммарная стойкость пластины $T_{P\Sigma}$, мин	Расход пластин на 100 ч основного времени, шт.
	мм				
Трехгранная	6,35	3,18 4,76	4,2	252	24
	9,525	3,18 4,76 6,35			
	12,7	4,76 7,93			
Квадратная	9,525	3,18 4,76	5,6	336	18
	12,7	4,76 6,35			
	15,875	4,76 7,93			
	19,05	6,35 7,93			
Ромбическая	12,7	4,76 7,93	2,8	168	36
	15,875	4,76 7,93			
Круглая	6,35	3,18	7,0	420	14
	9,525	3,18 4,76 7,93			
	12,7	4,76 7,93			
	15,875	7,93			

4.52. Расход (шт.) сборных элементов реза на один корпус

Форма пластины	Режущие пластины	Опорные пластины	Стружколомы
Трехгранная	67	3	8
Четырехгранная	50		
Ромбическая	100		
Круглая	40		

4.53. Расход (шт.) пластин из керамики в зависимости от трудоемкости обработки

Коэффициент основного времени K_{T_0}	Суммарная стойкость $\sum T$, мин	Расход при трудоемкости $T_{нч}$							
		1000	2000	4000	6000	8000	10 000	15 000	20 000
0,2	168	71	143	286	429	572	710	1065	2130
	252	48	95	190	286	381	481	721	1442
	336	36	71	143	214	286	357	535	1071
	420	29	57	114	171	228	285	429	858
0,25	168	89	179	357	536	714	890	1335	2670
	252	60	119	239	358	477	596	894	1789
	336	45	89	178	266	355	448	672	1345
	420	36	71	144	214	288	360	535	1071
0,3	168	107	214	428	642	856	1070	2140	3210
	252	71	142	285	427	569	712	1424	2136
	336	53	106	212	319	425	531	1062	1594
	420	43	86	171	257	343	429	643	1286
0,35	168	125	250	500	750	1000	1250	2500	3750
	252	83	167	335	502	669	837	1673	2510
	336	62	124	249	374	498	623	1245	1868
	420	50	100	200	300	400	500	750	1000
0,4	168	143	286	572	858	1144	1430	2145	4290
	252	95	190	381	571	762	952	1428	2857
	336	71	143	285	428	571	714	1071	2141
	420	57	114	228	343	457	571	857	1714
0,45	168	161	321	643	964	1288	1610	2415	4830
	252	107	214	427	641	854	1068	1602	3204
	336	80	159	320	481	637	797	1195	2390
	420	64	128	257	385	514	642	964	1928

Продолжение табл. 4.53

Коэффициент основного времени K_{T_0}	Суммарная стойкость $\sum T$, мин	Расход при трудоемкости $T_{нч}$							
		1000	2000	4000	6000	8000	10 000	15 000	20 000
0,5	168	179	357	714	1071	1428	1790	2685	5370
	252	119	238	477	716	954	1193	1789	3578
	336	89	178	355	533	710	888	1332	2664
	420	71	143	285	428	571	714	1071	2143
0,55	168	196	393	786	1178	1568	1960	2940	5880
	252	131	263	524	787	1041	1308	1962	3925
	336	98	196	391	587	784	979	1469	2938
	420	79	157	314	471	628	785	1178	2357
0,6	168	214	428	856	1284	1712	2140	3210	6420
	252	143	287	573	860	1146	1433	2149	4299
	336	107	214	428	642	851	1070	1606	3212
	420	86	171	343	514	686	857	1286	2571

Примечание. Расход пластин $n_{п} = \frac{TK_{T_0}}{\sum T}$.

нической обработки, а также для расчетов потребности в инструментах в условиях мелко- и среднесерийного производства по усредненным показателям нескольких технологических процессов обработки группы деталей. Расход пластин различных форм на 100 ч основного времени в табл. 4.51 дан для стойкости $T = 50$ мин. Если стойкость отличается от указанного значения, то расход пластин на 100 ч основного времени необходимо умножить на коэффициент K_p , приведенный в табл. 4.47.

4.54. Отношение K_{T_0} основного времени к штучному времени работы оборудования

Металлорежущие станки	Производство		
	массовое в крупносерийное	средне-серийное	единичное и мелко-серийное
Токарные	0,62	0,50	0,30
Расточные	0,60	0,40	0,30
Одношпиндельные горизонтальные много-резцовые полуавтоматы	0,55	0,50	—
Координатно-расточные	0,30	0,25	0,20

Для определенного числа режущих пластин данной формы рассчитывают требуемое число державок, опорных пластин и стружколомов.

4.55. Ориентировочная масса пластин

Цифровое обозначение пластин	Ориентировочная масса пластин, г		Цифровое обозначение пластин	Ориентировочная масса пластин, г	
	ВОК-60	В-3		ВОК-60	В-3
01111—110304 01131—110304	0,70	0,75	03111—120608 03131—120608	4,29	4,59
01111—110308 01131—110308	0,68	0,73	03111—120612 03131—120612	4,27	4,57
01111—160304 01131—160304	1,57	1,68	03111—120616 03131—120616	4,24	4,55
01111—160308 01131—160308	1,56	1,67	03111—150408 03131—150408	5,03	5,39
01111—160403 01131—160403	2,35	2,52	03111—150412 03131—150412	5,01	5,37
01111—160408 01131—160408	2,33	2,50	03111—150416 03131—150416	4,99	5,35
01111—160412 01131—160412	2,30	2,46	03111—150708 03131—150708	8,38	8,97
01111—160608 01131—160608	3,11	3,33	03111—150712 03131—150712	8,35	8,95
01111—160612 01131—160612	3,06	3,28	03111—150716 03131—150716	8,32	8,91
01111—220408 01131—220408	4,16	4,46	03111—190616 03111—190716 03111—190725	9,62 12,01 11,90	10,31 12,87 12,75
01111—220412 01131—220412	4,12	4,42	05111—120404 05131—120404	3,22	3,45
01111—220416 01131—220416	4,08	4,38	05111—120408 05131—120408	3,21	3,43
01111—220708 01131—220708	6,93	7,43	03111—090304 03131—090304	1,21	1,30
01111—220712 01131—220712	6,88	7,37	03111—090308 03131—090308	1,20	1,29
01111—220716 01131—220716	6,80	7,29	03111—090408 03131—090408	1,80	1,93
03131—120424 03131—120432	3,13 3,05	3,35 3,27			

Продолжение табл. 4.55

Цифровое обозначение пластины	Ориентировочная масса пластин, г		Цифровое обозначение пластин	Ориентировочная масса пластин, г	
	ВОК-60	В-3		ВОК-60	В-3
03111—090412 03131—090412	1,79	1,92	05111—160708 05131—160708	8,50	9,11
03111—120404 03131—120404	3,22	3,45	05111—160712 05131—160712	8,48	9,08
03111—120408 03131—120408	3,21	3,44	05111—160716 05131—160716	8,44	9,04
03111—120412 03131—120412	3,20	3,43	05111—160725 05131—160725	8,33	8,92
03111—120416 03131—120416	3,18	3,41	12131—060000 12131—090400	0,42 1,42	0,45 1,53
05111—120708 05131—120708	5,43	5,82	12131—090700 12131—120400	2,37 2,53	2,54 2,71
05111—120712 05131—120712	5,41	5,79	12131—120700 12131—150700	4,22 6,59	4,52 7,06
05111—120716 05111—160408 05131—160408	5,37 5,03	5,76 5,39			

Укрупненный расход пластин из керамики в зависимости от трудоемкости механической обработки приведен в табл. 4.52. В зависимости от группы металлорежущих станков и серийности производства по табл. 4.54 или по фактическим данным по участку, цеху, рассматриваемой группе деталей определяют отношение основного времени к штучному K_{T_0} . По табл. 4.54 для определенного значения K_{T_0} , суммарной стойкости пластины, взятой по табл. 4.51, и трудоемкости механической обработки определяют расход пластин. Масса пластин дана в табл. 4.55.

5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ, ОСНАЩЕННЫХ СТМ И КЕРАМИКОЙ

5.1. Технологические особенности применения инструментов, оснащенных СТМ и керамикой

При сопоставлении диапазонов скоростей точения сталей и чугунов резцами из композита и твердых сплавов можно сделать следующие выводы. Скорости резания близких по твердости сталей и чугунов твердыми сплавами примерно одинаковы; скорости резания чугунов композитами выше, чем скорости резания сталей композитами, причем разница резко возрастает по мере уменьшения твердости обрабатываемых материалов.

При точении сталей композитами твердость сталей мало сказывается на скорости резания, но она в значительной степени влияет на скорость резания твердыми сплавами (изменяется в 15—20 раз). При точении чугунов их твердость оказывает существенное влияние на скорость резания для обоих инструментальных материалов, но особенно заметно для твердых сплавов (изменяет в 15 раз) (табл. 5.1).

Композиты эффективнее твердых сплавов при чистовом точении закаленных сталей с $HRC_{\phi} > 45$ и чугунов любой твердости. При сопоставлении композитов с керамикой определяющим является характер затупления режущей кромки резца. Керамика позволяет точить «сырые» конструкционные стали со скоростью $v = 600 \dots 1200$ м/мин, а композиты — со скоростью не выше 200 м/мин. Скорость точения высокотвердых чугунов и сталей резцами из СТМ выше, чем скорость точения этих материалов резцами из керамики.

При сопоставлении скоростей торцового фрезерования фрезами, оснащенными композитом и твердым сплавом, очевидно преимущество композитов перед твердыми сплавами при рекомендуемых для композитов сечениях среза. Фрезерование чугунов и сталей инструментом из композита принципиально отличается от обработки твердосплавными фрезами: при обработке инструментами, оснащенными композитами, скорость резания сталей в 4—8 раз, а чугунов в 10—30 раз выше; подача на зуб соответственно в 2—5 раз, а силы резания в 2—4 раза меньше; потребляемая мощность в 3—8 раз больше, удельный расход электроэнергии на деталь остается неизменным; отклонение от плоскостности и параметр шероховатости обработанной поверхности в 2—4 раза ниже; отсутствует наклеп (из-за высоких температур в зоне резания, превышающих 1000 °С); производительность в 1,5—3 раза выше (табл. 5.2).

5.1. Скорость точения (м/мин) чугунов и сталей резцами, оснащенными композитом или твердым сплавом

Обрабатываемый материал	Композит	Твердый сплав
Сталь, HB 150—250	100—200	130—300
Сталь, HRC _φ 45—55	80—160	25—45
Сталь, HRC _φ 60—70	60—120	10—15
Серый чугун, HB 120—240	600—1000	100—200
Высокопрочный чугун, HB 160—300	400—800	50—100
Закаленный чугун, HB 400—600 (HRC _φ 40—60)	50—150	10—20

5.2. Скорость обработки (м/мин) чугунов и сталей фрезами, оснащенными композитом или твердым сплавом

Обрабатываемый материал	Композит	Твердый сплав
Сталь, HB 150—250	400—900	100—300
Сталь, HRC _φ 45—55	200—500	30—70
Сталь, HRC _φ 60—70 (кроме быстрорежущей)	80—200	—
Серый чугун, HB 120—240	800—3000	70—200
Высокопрочный чугун, HB 160—300	500—2000	50—80
Закаленный чугун, HB 400—600	200—800	10—20

Точение и фрезерование СТМ на основе нитрида бора зарубежного производства выполняют на менее высоких скоростях резания, но с существенно большими сечениями среза, более свойственными твердосплавному инструменту.

Точение и фрезерование инструментом из композита по ряду параметров также резко различаются. Между тем рекомендации по точению часто относят к фрезерованию, что недопустимо. Различие заключается в следующем: точение сырых сталей резцами из композита осуществляется на скоростях 100—200 м/мин, что экономически невыгодно по сравнению с точением твердосплавными резцами. Фрезерование же производится на скоростях 400—900 м/мин (в 3—4 раза выше, чем при фрезеровании твердосплавным инструментом), в результате чего достигаются высокие качество обработки и экономический эффект. Скорости резания при фрезеровании закаленных сталей и чугунов инструментом из композита в 3—4 раза выше, чем при точении. В то же время фрезерование закаленных быстрорежущих сталей с HRC_φ 60—70 выполняется инструментом из композита со скоростью 20—40 м/мин, что в 2—3 раза меньше скорости при точении этих сталей. Предварительное фрезерование чугунов по корке с глубиной резания до 6 мм чрезвычайно эффективно и находит все более широкое применение, а точение по корке менее эффективно. Резцы с пластинами из композита 01 не рекомендуются для точения с ударом закаленных сталей (HRC_φ > 50), а при фрезеровании композит 01 эффективен при обработке чугунов и сталей любой твердости.

Резцы с пластинами из композита 05 одинаково эффективно обрабатывают и чугуны, и закаленные стали, а торцовые фрезы с композитом 05 фрезеруют только чугуны. При точении основное влияние на стойкость инструмента из композита оказывает скорость резания, а при фрезеровании — подача на зуб. Поэтому при заданной глубине резания в случае точения вначале назначают подачу на оборот, максимальную по критерию точности и критерию качества обработки, а затем выбирают экономически эффективную скорость резания. В случае фрезерования — наоборот: сначала назначают максимально возможную скорость резания, а затем подбирают подачу на зуб, обеспечивающую требуемое качество поверхности. При точении охлаждение рекомендуется всегда, а при фрезеровании — только при большом расходе СОЖ (не менее 5 л/мин на каждый зуб фрезы).

Инструменты из КНБ можно применять для обработки цветных сплавов и неметаллических материалов, хотя и с меньшей эффективностью, чем алмазные. Поэтому в тех случаях, когда необходимо за один рабочий ход обработать комбинированные заготовки, состоящие из разных материалов (черных и цветных), предпочтительнее инструмент из КНБ. Исключением является точение заготовок из алюминий-кремниевых сплавов со вставками из специальных чугунов (детали типа поршень) — здесь эффективнее алмазные резцы (точение участка из чугуна выполняется со скоростью меньшей, чем при точении алюминий-кремниевых сплавов).

Отличие алмазных режущих инструментов от инструментов из КНБ в том, что первые успешно применяют с теми же оснасткой и режимами резания, с которыми работают замененные твердосплавные инструменты (эффективность достигается благодаря повышению стойкости инструмента в десятки и сотни раз), а вторые эффективны, как правило, только при резком повышении скорости резания. Поэтому если основной проблемой при внедрении алмазных инструментов является сложность формообразования (профилирования) и восстановления по мере затупления их режущей части, то при внедрении инструментов из КНБ, обладающих относительно хорошей шлифуемостью алмазными абразивными инструментами, основной проблема — сложность создания нового оборудования с повышенными частотой вращения шпинделя, мощностью и жесткостью.

Инструмент из СТМ используется не только для чистовой обработки. С освоением режущих пластин диаметром до 8—12 мм и созданием ступенчатых фрез с механическим креплением область применения композита при механической обработке резко расширяется: его стали применять для получистовой и даже предварительной обработки заготовок деталей машин взамен твердосплавного инструмента. Наиболее перспективно применение тор-

цовых фрез при обработке заготовок корпусных деталей из чугунов и цветных сплавов.

Заготовки для точения резцами, оснащенными керамикой, следует по возможности выбирать жесткими ($L/D \leq 5$, где L — длина, D — диаметр). У заготовок из улучшенных и закаленных сталей может быть $L/D > 5$, и их следует обрабатывать с применением люнетов, так как в этом случае скорость резания не превышает 200—250 м/мин. При обработке заготовок с $D > 200$ мм достигаются высокие скорости резания на серийно выпускаемых станкозаводами универсальных токарных станках и станках с ЧПУ с частотой вращения шпинделя $n = 1600 \dots 2000$ мин⁻¹. При обработке заготовок с $D \gg 200$ мм из стали и чугуна следует их отбалансировать, иначе при высокой частоте вращения шпинделя заготовка может вырваться из патрона. У заготовок, поступающих на токарные станки с ручным управлением, для обработки резцами, оснащенными керамикой, следует делать на входе и выходе инструмента фаски, превышающие припуск на операцию. Желательно делать канавки в местах перехода от обработки цилиндрической поверхности к торцовой. При работе на станках с ЧПУ в случае отсутствия на заготовках фасок или канавок в программе следует задавать уменьшенные в 2—2,5 раза значения подач для моментов входа и выхода инструмента. При обработке заготовок ступенчатых деталей на станках с ручным управлением длина самой короткой ступени должна быть такой, чтобы рабочий-станочник успевал реагировать на перемещение суппорта в течение всей рабочей смены (минутные подачи весьма велики).

Применение высокоскоростной обработки в течение длительного времени повышает требования к деталям токарных станков. Муфты и тормозные элементы станка должны выдерживать большое число переключений, большие силовые и тепловые нагрузки. Обязательны защитные приспособления и кожухи от разогретой стружки, особенно при точении чугуна и нетермообработанных сталей.

Применение СТМ и керамики изменяет баланс штучного времени: сокращается доля основного времени и возрастает доля вспомогательного, поэтому необходимо оборудовать станки быстро-зажимными и быстросъемными патронами, имеющими высокие точность и балансировку.

При чистовой обработке отверстий для устранения возможных следов от стружки на обработанной поверхности и достижения более высокого качества обработанной поверхности резец из обработанного отверстия следует выводить на рабочей продольной подаче. При этом одновременно обеспечивается выхаживание отверстия, повышение его точности, уменьшение шероховатости поверхности.

Для предохранения теплового деформирования детали целесообразно охлаждать обработанную поверхность с помощью СОЖ на расстоянии не менее 100 мм от вершины реза. Попадание СОЖ на пластину из керамики нежелательно.

5.2. Опыт применения инструментов, оснащенных СТМ и керамикой

Эффективность резцов и торцовых фрез, оснащенных поликристаллами СТМ на основе алмаза и нитрида бора, а также керамикой, в наибольшей степени проявляется в условиях автоматизированного производства по следующим основным причинам:

у поступающих на обработку заготовок более идентичны физико-механические характеристики, более стабильны снимаемый припуск и состояние обрабатываемой поверхности, чем у заготовок, поступающих на универсальные станки;

специальные станки, станки с ЧПУ и многоцелевые станки позволяют реализовать режимы резания, близкие к оптимальным для инструмента из СТМ и керамики, и тем самым обеспечить производительность обработки, соответствующую получению наибольшего экономического эффекта;

учитывая специфику СТМ и керамики, на станках с ЧПУ и многоцелевых можно таким образом программировать обработку, чтобы обеспечить плавный вход и выход инструмента на пониженных подачах, повысить надежность процесса;

принудительная смена инструмента и его централизованное восстановление (повторная заточка, сборка и выверка) обеспечивают наилучшие условия эксплуатации и минимальные потери инструментов, что особенно важно применительно к дорогостоящему инструменту из СТМ и керамики.

На специальных станках и станках, встроенных в автоматические линии, для обработки, например, заготовок деталей автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных машин массового производства и т. п. инструмент из СТМ и отчасти из керамики следует применять для следующих целей:

чистового точения чугуновых заготовок с большими обрабатываемыми поверхностями, для изготовления которых с использованием твердосплавных резцов требуются несколько станков (гильзы цилиндров, блоки цилиндров, маховики, тормозные барабаны, диски сцепления, чашки дифференциалов и др.);

чистового точения закаленных стальных и чугуновых заготовок высокой твердости, при изготовлении которых с использованием твердосплавных резцов или шлифовальных кругов требуются несколько станков или если при их изготовлении не обеспечивается требуемое качество обработки (седла клапанов, шестерни, втулки, шпинделя, каландровые и прокатные валки и др.);

чистового точения заготовок из цветных сплавов, при изготовлении которых стойкость твердосплавных резцов недостаточна или не обеспечивается требуемое качество и стабильность обработки (поршни, втулки, головки блока, детали тормозной и гидроаппаратуры и др.);

чистового торцового фрезерования плоскостей чугуновых и стальных заготовок, а также заготовок корпусных и базовых деталей из цветных сплавов, при изготовлении которых с использованием твердосплавных фрез или шлифовальных кругов требуется более одного станка (блоки и головки блоков цилиндров, корпуса коробок передач, направляющие станков и др.);

получистового и чернового фрезерования плоскостей чугуновых заготовок и заготовок корпусных и базовых деталей из цветных сплавов с припуском до 5—7 мм, при изготовлении которых с использованием твердосплавных фрез требуются несколько станков.

В СССР и за рубежом накоплен опыт применения инструмента, оснащенного СТМ и керамикой, прежде всего, на предприятиях с массовым или крупносерийным характером производства.

Так, чистовое точение наружных цилиндрических и торцовых поверхностей заготовок цилиндра двигателя из специального легированного серого чугуна твердостью HB 200—249 производится на многорезцовых полуавтоматах ИН713 сборными резцами с механическим креплением круглых пластин RNMN 030300 из композита 01, ромбических пластин CNHN 050308 из композита 05. Режим резания: $v = 300$ м/мин; $n = 800$ мин⁻¹; $S_0 = 0,065$ мм/об; $t \approx 1$ мм. Это позволило:

снизить штучное время точения на 18 % (по сравнению со штучным временем точения твердосплавными резцами);

исключить операцию притирки (доводки) верхнего торца со средней трудоемкостью 0,587 мин/деталь и высвободить пять токарно-карусельных станков, на которых она выполнялась, а также повысить культуру производства (эта операция отличалась большой загрязненностью отходами шлифования);

снизить на 0,2 мин/деталь трудоемкость послеоперационного и приемочного контроля путем повышения стабильности обточки.

Растачивание отверстия диаметром $11^{+0,06}_{-0,03}$ мм и глубиной 16 мм седла клапана из стали 45X твердостью HRC₃ 45—55 выполняется резцом, оснащенный композитом 01, на горизонтальном алмазно-расточном трехшпиндельном станке 2A715 взамен обработки на внутришлифовальном станке. Режим резания: $v = 66$ м/мин; $n = 1900$ мин⁻¹; $S_0 = 0,06$ мм/об; $t = 0,1 \dots 0,2$ мм, без охлаждения. Параметр шероховатости обработанной поверхности $Ra = 0,40$ мкм. Стойкость резца — 600 деталей, он выдерживает три повторные заточки до полного изнашивания. В результате производительность обработки возросла в 2 раза, параметр шеро-

ховатости поверхности снизился в 3 раза (с $Ra = 1,25$ мкм до $Ra = 0,40$ мкм), исключено шаржирование абразива и в трущуюся поверхность клапана, увеличилась долговечность пары.

Растачивание отверстия диаметром $26^{+0,015}$ мм и глубиной 42 мм втулки шестеренного насоса (работает в режиме подшипника скольжения) из специального антифрикционного алюминиевого сплава твердостью НВ 80—115 выполняется на трехшпиндельных алмазно-расточных станках 2705 резцами, оснащенными поликристаллическим синтетическим алмазом АСПК, взамен твердосплавных резцов. Режим резания: $v = 263$ м/мин; $n = 3100$ мин⁻¹; $S_0 = 0,11$ мм/об; $t = 0,1 \dots 0,2$ мм, без охлаждения. Средняя стойкость резца — около 30 смен без подналадок, резец 2—4 раза затачивают повторно. Параметр шероховатости обработанной поверхности ($Ra = 0,20$ мкм) существенно ниже, чем при растачивании твердосплавным резцом, благодаря чему увеличилась долговечность насосов. Аналогичным образом выполняют обточку заготовки втулки диаметром $55_{-0,035}^{+0,015}$ мм и длиной 28 мм, подрезку торца в размер $2_{-0,040}^{+0,005}$ мм. Производительность труда возросла на 25 %, высвобождено шесть алмазно-расточных станков.

Фрезерование плоскостей разъема (100×200 мм) корпуса распределителя гидросистемы трактора из чугуна СЧ 21 твердостью НВ 200—240 производится на вертикально-фрезерном станке, встроенном в автоматическую линию, ступенчатой торцовой фрезой диаметром 160 мм с механическим креплением прецизионных круглых пластин из композита 05 взамен фрезы с ножами из твердого сплава и окончательного плоского шлифования торцом сегментного абразивного круга. Режим резания: $v = 458$ м/мин; $n = 912$ мин⁻¹; $S_m = 700$ мм/мин; $S_z = 0,043$ мм/зуб; $t = 1 \dots 3$ мм, без охлаждения. В принципе такая глубина резания не требует применения ступенчатой фрезы, однако этот инструмент устанавливают для обеспечения надежной работы линии на случай непредвиденного поступления детали с большим припуском, который обычной фрезой с пластинами из композита 05 не может быть снят. Фрезу меняют один раз в две смены, комплект пластин имеет 8—10 периодов стойкости. Благодаря концентрации операций (шлифование исключено из технологического процесса) производительность выросла в 1,8 раза. Кроме того, отклонение от плоскостности уменьшилось в среднем с 0,08 мм до 0,03 мм, что чрезвычайно важно для качества всего распределителя, так как резко увеличилась плотность соединения корпуса с крышкой. Окончательную обработку привалочной плоскости корпуса гидрораспределителя производят также на карусельно-фрезерном станке 621М фрезой диаметром 160 мм с круглыми пластинами из композита 05. Режим резания: $v = 452$ м/мин; $n = 900$ мин⁻¹; $S_m = 570$ мм/мин; $S_z = 0,035$ мм/зуб; $t \approx 1$ мм.

Фрезерование привалочной плоскости крышки распределителя из специального алюминиевого сплава твердостью НВ 70—90 выполняют на четырехшпиндельном барабанно-фрезерном станке ГФ1080 специальными торцовыми ступенчатыми фрезами диаметром 145 мм с ножами, оснащенными поликристаллами АСПК, взамен твердосплавного инструмента. Режим резания: $v = 570$ м/мин; $n = 1250$ мин⁻¹; $S_m = 800$ мм/мин; $S_z = 0,21$ мм/зуб; $t \approx 3,2$ мм.

Фреза сконструирована так, что соблюдается принцип деления не только подачи, но и глубины резания: 24 ножа разделены на три группы (т. е. деление подачи фактически идет на три зуба) по восемь штук в каждой (т. е. деление припуска идет на восемь зубьев). Ножи в каждой из трех групп расположены по спирали Архимеда, поэтому глубина резания каждого ножа не превышает 0,4—0,5 мм и устанавливается инструментальщиком при сборке фрезы. Период стойкости фрезы 1,5—2 мес, что в 50—100 раз больше, чем период стойкости твердосплавной фрезы, ножи 2—4 раза затачивают повторно. Отклонение от плоскостности и в этом случае уменьшилось в 2 раза.

Анализ заводского опыта показывает, что скорости резания инструментом, оснащенным СТМ, сравнительно невысоки. Лимитирующим фактором является оборудование, в большинстве случаев не обладающее необходимыми частотами вращения шпинделя, мощностью, жесткостью, виброустойчивостью. В СССР несколько тысяч единиц карусельно-фрезерных станков производят обработку твердосплавными фрезами плоскостей заготовок корпусных чугунных деталей в крупносерийном и массовом производстве. Внедрение на этих операциях инструмента с пластинами из композита на новом оборудовании может повысить производительность обработки и качество деталей в 2—3 раза.

Ступенчатые фрезы диаметром 160 мм с круглыми пластинами из композита 05 применяют для обработки привалочных плоскостей корпусов коробок передач на японских многоцелевых станках МСМ 13×20 и ВТН-13А фирм «Окума» и «Тосиба» взамен фрез с твердосплавными пластинами шведской фирмы «Сандвик». Режим фрезерования чугунных отливок по корке следующий: $v = 625$ м/мин; $n = 1250$ мин⁻¹; $S_m = 500 \dots 800$ мм/мин; $S_z = 0,02 \dots 0,04$ мм/зуб; $t = 4 \dots 5$ мм. Ширина обрабатываемой поверхности по периметру корпуса 40—60 мм. Производительность обработки увеличилась в 2,5 раза.

Резцы с механическим креплением пластин из керамики ВО-13 применяют при чистовом точении заготовок шпинделей токарных станков из стали 45 с НВ 197—217. Обтачивание всех ступеней заготовок шпинделя выполняют на токарно-винторезном станке с ЧПУ модели MDW-13; достигаемая шероховатость обработки — в пределах $Ra = 2,5$ мкм, торцовое биение — не

более 0,10 мм. Стойкость одной режущей кромки — четыре шпинделя. До внедрения керамики ВО-13 шпиндели обрабатывали резцами с пластинами из керамики ВОК-60; основное время обработки шпинделя составляло 5—6 мин, стойкость резцов была ниже в 1,5—2 раза.

Резцами из ВОК-60 протачивают наружные поверхности заготовок деталей типа червяка из стали 45 с НВ 190—207, заготовок гильз из стали 45 с НВ 240—280. Скорость резания керамическими резцами $v = 350$ м/мин, а резцами из сплава Т15К6 $v = 110 \dots 140$ м/мин.

Резцами из ВОК-60 растачивают отверстие диаметром 140 и 150 мм в корпусе передней бабки станка 16К20. Обработку выполняют на отделочно-расточном станке ОС-315 резцами с пластинами из керамики взамен резцов с твердосплавными пластинами ВК-3М. Режимы резания керамикой: $v = 270$ м/мин; $S = 0,03$ мм/об и $t = 0,25$ мм. В результате обработки получены отверстия с отклонением от цилиндричности не более 4 мкм и $Ra = 1,25$ мкм.

Резцы с пластинами из ВОК-60 внедрены при серийной обработке заготовок деталей типа «щека» из стали 35ХГСЛ с НВ 217. На отделочно-расточном станке 2706П0С7123 растачивают отверстия диаметром $50^{+0,025}$ мм резцами с пластинами из керамики взамен резцов с пластинами из Т30К4. Достигнуто снижение $T_{осн}$ в 1,75 раза. Растачиванием двух симметричных отверстий диаметром $150^{+0,04}$ мм в гильзе из чугуна СЧ 20 с НВ 180—210 на станке 2712П0С6951 резцами из ВОК-60. При $v = 450$ м/мин достигается повышение производительности на 55 %.

Резцами с пластинами из ВОК-60 обрабатывают заготовки деталей типа гильз из стали 40Х с НВ 210—217, шестерен из стали 40Х улучшенной. Скорость резания $v = 226 \dots 350$ м/мин. Резцы применяют на станках 16К20Ф3С5 с ЧПУ. По сравнению с обработкой твердосплавными резцами достигнуто сокращение $T_{маш}$ в 2,1—2,4 раза. При точении гильз применяют СОЖ: производят полив эмульсии за резцом на расстоянии 100 мм.

Специальными резцами с пластинами из ВОК-60 взамен резцов с пластинами из сплава Т15К6 выполняют наружное точение «колонны» из трубы диаметром 89 мм с толщиной стенки 12 мм. Режимы точения: $v = 350$ м/мин; $t = 1,0$ мм; $S_0 = 0,23$ мм/об. Достигнуто снижение $T_{осн}$ почти в 2 раза.

Точение шеек шпинделя станка из стали 45 с НВ 207—220 производят резцовыми вставками с квадратными пластинами из ВОК-60. Скорость резания повысилась в 2 раза по сравнению со скоростью резания пластинами из Т15К6. Эти же шейки шпинделей протачивают после термической обработки на твердость НРС₃ 38—42, НРС₄ 42—46. Достигнуто повышение производительности обработки до 4 раз.

Сферическую головку заготовки штока из стали 40ХН с НРС₃ 30—35 обрабатывают на токарном станке с ЧПУ специальными резцами с квадратными пластинами из ВОК-60. Достигнуто повышение скорости резания в 2 раза по сравнению со скоростью резания резцами из Т15К6.

Резцы с пластинами из ВОК-60 применяют для обработки заготовок цапг, корпусов из стали 60С2 и 18ХГТ твердостью НРС₃ 53—57. Машинное время обработки снизилось в 1,6—2,1 раза.

Резцы с пластинами из керамики внедрены при обработке заготовок деталей типа штампа вырубку из стали с НРС₃ 39 ...

5.3. Режимы резания стали 60ХЗГ8Н8Б резцами из ВОК-60

Инструментальный материал	v , м/мин	S_0 , мм/об	t , мм	T , мин
Т15К6	70	1,0	0,3	170
В-3	113	1,0	0,3	440
ВОК-60	170	1,0	0,2	210

44, матриц пресс-форм из стали с НРС₃ 56 ... 60. Детали имеют окалину после термической обработки. В результате применения керамики достигнуто снижение машинного времени точения до 2—4 раз по сравнению с основным временем при обработке резцами из Т30К4 и Т15К6, экономический эффект по группе деталей составил 34,5 руб/год.

Точение резцами с пластинами из СТМ и керамики может эффективно заменять шлифование закаленных сталей при единичном и серийном производстве. В этих случаях чем больше снимаемый припуск, тем эффективнее применение керамики. Особенно возрастает эффективность при выполнении нескольких операций: точение, подрезание торца и снятие фаски, растачивание отверстия и подрезание торца, протачивание по наружному диаметру. Концентрация операций во многом способствует использованию станков с ЧПУ.

На станках 16К20РФ3С5 обтачивают муфты из стали 20Х с НРС₃ 56 и шестерни из сталей 45 и 40Х с режимами резания: $v = 200 \dots 300$ м/мин; $S_0 = 0,07 \dots 0,22$ мм/об; $t = 0,2 \dots 0,3$ мм резцами с пластинами из керамики и обрабатывают точные отверстия вместо предварительного шлифования; эти отверстия в дальнейшем служат базой для нарезания зубьев. Расточные резцы с квадратными пластинами SNMG 120412 из В-3 применяют для растачивания ведомого колеса из стали 20ХН2М с НРС₃ 58—62. Геометрические параметры расточных резцов: $\gamma = -7^\circ$; $\alpha = 7^\circ$; $\gamma_{\phi} = -20^\circ$; $f = 0,2$ мм; $\phi = 45^\circ$; $r = 1,2$ мм. При $v = 132$ м/мин; $S_0 = 0,07$ мм/об; $t = 0,2$ мм стойкость составила 75 деталей ($T = 31$ мин) при критерии затупления $h_3 = 0,35$ мм.

Керамика внедрена при обработке заготовок бандажных колец диаметром 1000—1200 мм, длиной 1200 мм из стали 60ХЗГ8Н8Б.

5.4. Сравнительные результаты применения резцов с пластинами из керамики и твердых сплавов

Обрабатываемый материал	v , м/мин	t , мм	S_0 , мм/об	Материал режущей части	T , мин
Чугун отбеленный, HRC ₉ 62	5	0,2	6,2	BK60M	40
	30	1,6	0,32	ВОК-60	60
Чугун высоколегированный, HRC ₉ 40—62	5	2	3,0	BK6M	40
	40	3	0,3	ВОК-60	61,5
	6,3	5,0	2,0	BK-3	34
Чугун высокопрочный	70	2,0	0,63	ВОК-60	38
	126	5,0	1,5	BK8	60
Сталь 18ХГТ, HRC ₉ 55—60 (цементованная)	208	5,0	0,5	ВОК-60	65
	62	0,2	0,05	T15K6	12,5
Сталь 34ХНМА, HRC ₉ 40—45	157	0,2	0,05	ВОК-60	25
	70	0,5	0,26	T30K4	30
Сталь 12Х2Н4А, HRC ₉ 45—50	230	0,5	0,20	ВОК-60	70
	101	0,8	0,2	T15K6	6
Сталь 3Х13, HRC ₉ 47	213	0,8	0,2	ВОК-60	34
	67	0,5	0,125	T15K6	340
	107	0,5	0,125	ВОК-60	720

Из данных, приведенных в табл. 5.3, следует, что резцы с пластинами из В-3 и ВОК-60 позволяют увеличить скорость резания до 2,5 раз и повысить стойкость инструмента.

Резьбу с шагом 10 мм на ходовых винтах для станков с ЧПУ из стали 7ХГ2ВМ с HRC₉ 58—60 диаметром 80 и 100 мм, длиной 2300 мм после их термической обработки нарезают круглыми пластинами из твердого сплава ТТ8К6 со скоростью $v = 31$ м/мин, глубина за один рабочий ход $t = 0,20$ мм и затем $t = 0,10$ мм.

Разработана конструкция специального резца с механическим креплением двух круглых пластин из ВОК-60 или В-3, обеспечивающая деление стружки по ширине равномерно вправо и влево от центра в расстоянии между осями 0,1 мм. Резец состоит из державки. Две круглые пластины устанавливаются в гнезда на опорные пластины и прижимаются плавающим прихватом. Геометрические параметры резца: угол установки пластины в осевом направлении 10° , а в направлении, перпендикулярном к осевому, 3° , ширина фаски 0,3 мм. Такая конструкция позволяет увеличить задний угол без существенного увеличения переднего угла пластин. Режимы резания: $v = 100 \dots 120$ м/мин;

5.5. Примеры применения алмазных резцов

Деталь, материал, твердость	Содержание операции; оборудования	Инструментальный материал	S_0 , мм/об	t , мм	СОЖ	Средняя стойкость*	Средний износ A_2 , мм	Эффективность внедрения
Поршень; ВКЖЛС-2; HB 90—110	Растачивание отверстий под поршневой палец; $\varnothing 50_{-0,015}^{+0,015}$ мм; $t = 39$ мм; $Ra = 0,63$ мкм; станок ОС1292	АСПК, СВБН	0,09	0,1	—	$\frac{1800}{1100}$	0,2—0,3	Повышение стойкости в 36 раз по сравнению с ВКЗМ
Поршень; АЛ30; HB 90—120	Растачивание отверстий под поршневой палец; $\varnothing 25_{-0,01}^{+0,01}$ мм; $Ra = 0,50$ мкм; станок фирмы «Ласаль» (США)	АСПК, СВБН	0,076	0,11	Укри-нол-1	$\frac{10000}{2200}$	0,15	Замена импортных инструментов
То же	Обточка юбки поршня по копиру; $\varnothing 92_{+0,03}^{+0,03}$ мм; $Ra = 1,25$ мкм; отклонение образующей от прямолинейности 0,003 мм; станок фирмы «Ласаль»	АСПК, СВБН	0,11	0,04	То же	$\frac{10000}{9000}$	0,10	То же
Поршень; АЛ30; HB 90—130	Растачивание отверстия под поршневой палец; $\varnothing 28_{-0,01}^{+0,01}$ мм; $Ra = 0,63$ мкм; станок фирмы «Ласаль»	СВБН	0,076	0,1	—	$\frac{7000}{4000}$	0,10	—

Продолжение табл. 5.5

Деталь, материал, твердость	Содержание операции; оборудование	Инструментальный материал	S_p , мм/об	t , мм	СОЖ	Средняя стойкость*	Средний износ h_z , мм	Эффективность внедрения
Поршень; АЛ30; HB 90—130	Обтачивание юбки поршня по копиру; $\varnothing 100$ мм, допуск 0,06 мм с разбивкой на шесть групп; станок фирмы «Ласаль»	СКБН	0,18	0,1	Укритол-1	$\frac{6000}{6000}$	0,1	Замена импортных инструментов
Колпак ротора; АЛ10В; HB 80 ... 120	Растачивание двух основных отверстий; $\varnothing 125^{+0,08}$ мм и $\varnothing 25^{+0,025}$ мм; $Ra = 2 \dots 2,5$ мкм; станок 2706	АСПК	0,08	0,35	—	$\frac{14600}{1200}$	0,2—0,3	Повышение стойкости в 50 раз по сравнению с ВК2
Толкатель; ОЦС 4-4-2,5; HB 60—70	Растачивание бронзовой втулки толкателя $\varnothing 22^{+0,03}$ мм; $l = 34$ мм; $Ra = 1,0 \dots 1,25$ мкм; станок 2А710	АСПК	0,06	0,2	—	$\frac{2100}{380}$	0,2—0,3	Повышение стойкости в 50—70 раз по сравнению с ВК3М
Коромысло; ОЦС 4-4-2,5; HB 60—70	Растачивание бронзовой втулки коромысла; $\varnothing 25^{+0,03}$ мм; $l = 30$ мм, $Ra = 1 \dots 1,25$ мкм; станок КК65	АСПК	0,06	0,23	—	$\frac{2000}{360}$	0,2—0,3	Повышение стойкости в 50 раз по сравнению с ВК3М

Продолжение табл. 5.5

Деталь, материал, твердость	Содержание операции; оборудование	Инструментальный материал	S_p , мм/об	t , мм	СОЖ	Средняя стойкость*	Средний износ h_z , мм	Эффективность внедрения
Блок цилиндров; СОС-6-6	Растачивание опор $\varnothing 50$ мм под распределительный вал; автоматическая линия	АСПК	0,05	0,5	Керосин с маслом	$\frac{13500}{9000}$	0,3—0,4	Сокращение потерь от брака и простоев автоматической линии по сравнению с ВК6
Шатун в сборе; ОЦС 4-4-2,5	Растачивание малой головки шатуна черновыми и чистовыми резцами; $\varnothing 25^{+0,002}$ мм; $Ra = 0,4 \dots 0,5$ мкм; автоматическая линия фирмы «Бурр» (ФРГ)	АСПК	0,09 (черновое); 0,04 (чистовое)	0,3 (черновое); 0,13 (чистовое)	ВИ4	$\frac{10000}{3000}$	0,3—0,4	То же, по сравнению с Т30К4

Примечание. В большинстве случаев режимы резания не соответствуют потенциальным возможностям алмазных резцов и диктуются ограниченными техническими характеристиками действующего оборудования.

* В числителе — число заготовок, в знаменателе — минуты.

$t = 0,1$ мм. Испытания этих резцов показали, что применение пластин из оксидно-карбидной керамики повышает производительность нарезания круглой резьбы с шагом 20 мм до 2 раз. Для эффективного применения таких резцов необходимы станки, имеющие большую мощность и жесткость по сравнению со станками, на которых используют твердосплавные резцы.

Весьма эффективно применение резцов с пластинами из В-3 и ВОК-60 при точении заготовок прокатных валков и каландровых валов из отбеленных, высоколегированных чугунов. Применение инструмента с пластинами из керамики позволяет повысить скорость резания в 6—8 раз, что увеличивает производительность обработки в 1,5—2,5 раза и повышает качество обработанной поверхности (табл. 5.4).

В прил. 9 приведены конкретные примеры эффективного применения инструмента из СТМ и керамики в отечественном машиностроении.

Примеры практического применения алмазных резцов на заводах автомобильной промышленности даны в табл. 5.5.

5.3. Шлифование и заточка инструментов, оснащенных СТМ и керамикой

Режущую керамику выпускают только в виде сменных круглых и многогранных пластин, поэтому в большинстве случаев у потребителей инструмента, оснащенного этими пластинами, не возникает необходимости в повторных заточках. Однако при достаточно больших объемах потребления керамических пластин их повторная заточка по мере изнашивания на ремонтный размер оказывается экономически целесообразной и выполняется на некоторых крупных предприятиях. Кроме того, нередки случаи, когда приходится повторно затачивать пластины для изменения геометрических параметров применительно к конкретным технологическим условиям (например, уменьшают радиус при вершине, снимают защитную отрицательную фаску, затачивают задний угол и т. п.). Поэтому мы приводим некоторые сведения по повторной заточке пластин из режущей керамики.

Эффективная обработка керамических материалов возможна только с использованием алмазного инструмента. Нормальная эксплуатация алмазных кругов возможна при осевом и радиальном биении не выше соответственно 0,01 и 0,025 мм при предварительной обработке и 0,003 и 0,015 мм — при окончательной. При шлифовании керамики особенно опасно возникновение вибраций, которые приводят к снижению точности, ухудшению качества обработанной поверхности, появлению сколов, выкрашиваний, а в некоторых случаях — и трещин. Для устранения вибра-

ций рекомендуется пользоваться шлифовальными станками повышенной жесткости и устанавливать их на виброизолирующие опоры, производить динамическую балансировку шлифовальных кругов, поддерживать режущую способность круга путем периодической правки.

Плоское шлифование керамики может осуществляться периферией круга на станках с горизонтальной осью вращения (станки ЗГ71, 3711, 3Е711В, 3Б740, 3Б741, 3Д741), торцом круга на станках с вертикальной осью, а также на заточных станках. В настоящее время как в отечественной, так и в зарубежной практике отдается предпочтение шлифованию торцом круга вследствие более высокой его эффективности. Преимущество торцового шлифования керамики состоит в большой площади контакта круга с обрабатываемой поверхностью, более равномерном распределении нагрузки по рабочей поверхности круга и снижении брака вследствие сколов, меньших габаритах станков. Эта схема реализована также в универсально-заточных станках (например, станки ЗМ642, ЗМ642Е), снабжаемых большим числом приспособлений для заточки инструментов различных видов. Для шлифования специальных профилей на керамических пластинах применяют оптико-шлифовальные станки с проектором.

Алмазные круги чашечной, тарельчатой формы и прямого профиля, применяемые для шлифования и заточки керамики, выпускают в соответствии с ГОСТ 16167—80 и ГОСТ 16171—81Е. Для шлифования и заточки торцом круга чаще всего применяют чашечные конические круги формы 12А2 с углом 45° по ГОСТ 16172—80Е. Для шлифования керамики используют круги из синтетических алмазов АС2, АС4, АС6 зернистостью 125/100—60/40. Алмазы АС2 используют для изготовления кругов на органической связке, АС4 — на органической и керамической связках, АС6 — только на металлической связке. В качестве связок чаще всего применяют бакелитовую, карболитовую и вулканитовую связки. Круги на органических связках (Б1, Б2, Б156 и др.) характеризуются хорошими полирующими свойствами, легко самозатачиваются, но недостаточно удерживают алмазные зерна, что ограничивает их использование на предварительной стадии обработки. При работе такими кругами шлифование или заточку можно вести без охлаждения. При определенных режимах круги на керамических связках К1, К5, СК и др. также могут работать в режиме самозатачивания. Работу такими кругами ведут, как правило, с охлаждением. Основной недостаток керамической связки — повышенная хрупкость, которая ограничивает применение инструмента в процессе с ударными воздействиями. Наиболее эффективна обработка керамики алмазными кругами на металлических связках (М1, М04, М013 и др.), которые придают алмазному слою наибольшие прочность и износостойкость.

Металлические связки могут быть без наполнителей (например, связка М1 состоит из 80 % меди и 20 % олова) и с наполнителями в виде высокотемпературной смазки, глинозема, абразива (связки МО13, МС6). Эксплуатация алмазных кругов на металлических связках обязательно должна сопровождаться обильным охлаждением, а также электрохимической или электроэрозионной правкой круга (в цикле станка).

Круги с наружным диаметром 100 мм и более, толщиной 5 мм и более должны балансироваться статически в динамическом режиме. При этом предельное значение смещения центра тяжести круга относительно оси вращения не должно превышать: для кругов массой до 1 кг — 40 мкм, для кругов массой 1—3 кг — 32 мкм. Балансирование круга выполняют путем высверливания материала корпуса на тяжелой стороне или нанесением материала на легкой стороне круга. Глубина сверления не должна превышать половины толщины корпуса, а число отверстий не должно быть больше трех.

Потеря режущей способности алмазного круга вызывает снижение производительности шлифования, ухудшение качества обработанной поверхности, увеличение силовых и температурных деформаций, которые могут привести к образованию сколов, выкрашиваний и трещин. Для восстановления режущей способности круга выполняют правку. Толщина алмазного слоя, снимаемого при правке, может изменяться от 0,005 до 0,03 мм. Широкое применение в промышленности нашла правка алмазного круга путем шлифования абразивных брусков. Используют абразивные бруски из электрокорунда белого на керамической связке твердостью СМ2 с размером зерна, примерно равным зернистости алмазного круга. Правку выполняют механизированно или вручную (последнюю, как правило, на заточных станках). На автоматизированном оборудовании распространена правка шлифованием абразивного круга плоского профиля из зеленого карбида кремния. Применительно к алмазным кругам на металлических связках весьма эффективны методы электролитической и электроэрозионной правки.

В целях повышения стойкости инструмента с керамическими пластинами до 20—30 % рекомендуется производить доводку рабочих поверхностей пластин алмазными пастами на притирах. По СТ СЭВ 206—75 алмазные пасты изготавливают из природного и синтетического алмазных порошков (ГОСТ 9206—80Е) зернистостью 60/40—1/0 и наполнителя из стеарина, олеиновой кислоты, оливкового масла и др. Следует учитывать, что доводка характеризуется строго последовательной сменой материала притира и зернистости алмазного порошка в пасте или суспензии. Даже случайное попадание в зону обработки алмазных зерен более высокой зернистости, осколков керамики или абразивных частиц

из воздуха может привести к появлению на обработанной поверхности отдельных недопустимых рисок и сколов. Для предотвращения такого явления необходимо выполнять следующие мероприятия: промывать водой с мылом и волосистой щеткой сменный стол с заготовками после каждой стадии обработки; регулярно ежедневно промывать зону обработки, особенно ее верхнюю часть, находящуюся над сменным столом и притиром, маркировать притиры согласно используемым зернистостям алмазных паст и суспензий; создавать в зоне обработки избыточное давление и оборудовать станки вытяжными установками; очищать сжатый воздух, используемый в процессе доводки. Суспензии для доводки готовят из водорастворимых паст и воды. Пасту помещают в колбу с водой и тщательно размешивают. Для удаления пенообразующего вещества, находящегося в пасте, суспензии дают отстояться в течение 8 ч и осторожно сливают верхнюю половину раствора с последующим добавлением недостающего объема воды. В общей сложности процедуру отстаивания повторяют 3 раза. Колбы маркируют номером зернистости алмазного порошка. Перед работой суспензию взбалтывают.

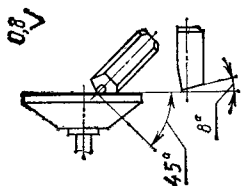
В отличие от пластин из керамики резцы и ножи для фрез с неразъемно закрепленными поликристаллами нуждаются в повторных заточках для восстановления режущих свойств по мере изнашивания. В качестве примера приведем технологические процессы повторной заточки резцовых вставок и координатно-расточных резцов, оснащенных композитом (табл. 5.6, 5.7).

Заточку и повторные заточки резцов, оснащенных поликристаллами синтетических алмазов, наиболее целесообразно выполнять на заводах—изготовителях резцов, так как заточные отделения машиностроительных предприятий, как правило, не обладают необходимым для этой цели специальным оборудованием и специальными алмазными кругами.

Учитывая низкую шлифуемость поликристаллических алмазов, в 200 раз меньшую, чем у твердых сплавов, фирма «Эваг» (Швейцария) создала гамму специальных заточных станков высокой жесткости и виброустойчивости. Станки RS3-M, RS10, EWAMT/EVRZON позволяют затачивать алмазные резцы практически любой формы и точности. Например, станок RS10 имеет мощную систему охлаждения (расход СОЖ свыше 20 л/мин), проектор с увеличением 10×, 20× или 60× и работает по схеме как врезного, так и маятникового (многопроходного) шлифования: сила прижима алмазного шлифовального круга к заготовке 50—500 Н; точность установки 0,01 мм. В случае маятниковой заточки работа выполняется без прерывания контакта круга с шлифуемым резцом; частота осцилляций — 60 дв. ход/мин. Применяют круги из высокопрочных монокристаллических алмазов на специальной связке.

5.6. Последовательность повторной заточки резцовой вставки диаметром 10 мм, оснащенной композитом 01, 02 или 10, на универсально-заточных станках ЗБ642, ЗМ642, ЗМ642Е и др. с помощью трехповоротных тисков

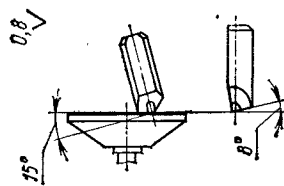
№ операции	Содержание перехода	Инструмент		Режим шлифования				T _{осн}	T _в
		режущий	измерительный	t _{дв.} мм/дв. ход	S, м/мин	n, мин ⁻¹	v, м/с		



1	Закрепить резец в тисках	—	—	—	—	—	—	—	—
1	Заточить главную заднюю поверхность	Круг шлифовальный 12А2 (125—150)×10×32 АС4 100/80 (ТО2, Б1) 100%, ГОСТ 1672—80, ГОСТ 9206—80	Угломер маятниковый ЗУРД, ТУ 2-034-666—77 Образцы шероховатости поверхности, ГОСТ 9378—75	0,03—	2—3	3150	20—25	1,0	0,5
				0,04	—	—	—	—	—
3	Снять резец	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 5.6

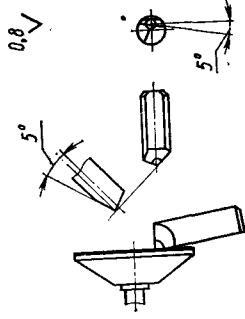
№ операции	Содержание перехода	Инструмент		Режим шлифования				T _{осн}	T _в
		режущий	измерительный	t _{дв.} мм/дв. ход	S, м/мин	n, мин ⁻¹	v, м/с		



1	Закрепить резец в тисках	—	—	—	—	—	—	—	—
2	Заточить вспомогательную заднюю поверхность	Круг шлифовальный 12А2 (125—150)×10×32 АС4 100/80 (ТО2, Б1) 100%, ГОСТ 1672—80, ГОСТ 9206—80	Угломер маятниковый ЗУРД, ТУ 2-034-666—77 Образцы шероховатости поверхности, ГОСТ 9378—75	0,03—	2—3	3150	20—25	1,0	0,5
				0,04	—	—	—	—	—
3	Снять резец	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 5.6

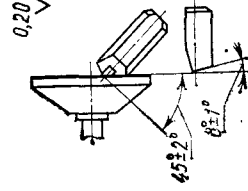
№ операции	№ перехода	Содержание перехода	Инструмент		Режим шлифования				T _{осн}	T _в
			режущий	измерительный	t, мм/дв. ход	S, м/мин	n, мин ⁻¹	v, м/с		



1	Закрепить резец в тисках	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
2	Заточить переднюю поверхность	Круг шлифовальный 12A2 (125—150) × 10 × 32 АС4 100/80 (ГО2, Б1) 100 %, ГОСТ 1672—80, ГОСТ 9206—80	Угломер маятниковый ЗУРИ, ТУ 2-034-666—77 Образцы шероховатости поверхности, ГОСТ 9378—75	—	—	0,03—0,04	2—3	3150	20—25	0,9	0,5
3	Снять резец	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 5.6

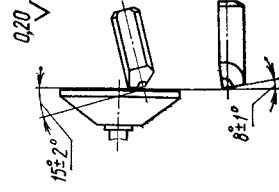
№ операции	№ перехода	Содержание перехода	Инструмент		Режим шлифования				T _{осн}	T _в
			режущий	измерительный	t, мм/дв. ход	S, м/мин	n, мин ⁻¹	v, м/с		



1	Закрепить резец в тисках	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	Довести главную заднюю поверхность	Круг шлифовальный 12A2 (125—150) × 10 × 32 АСН 50/20 (ГО2, Б1) 50 %, ГОСТ 1672—80, ГОСТ 9206—80	Угломер маятниковый ЗУРИ, ТУ 2-034-666—77 Образцы шероховатости поверхности, ГОСТ 9378—75	—	—	0,005—0,01	0,5—1,0	3150	20—25	1,0	0,5
3	Снять резец	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 5.6

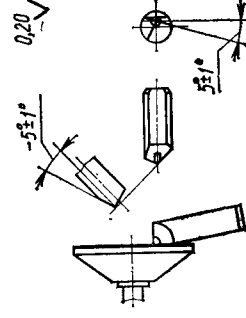
№ операции	№ перехода	Инструмент		Режим шлифования				T _{осн}	T _в
		режущий	измерительный	t, мм/дв. ход	S, м/мин	n, мин ⁻¹	v, м/с		



5	1	Закрепить резец в тисках	—	—	—	—	—	—	—	
	2	Довести вспомогательную заднюю поверхность	Круг шлифовальный 12A2 (125—150) × 10 × 32 АСН 50/40 (Т02, Б1) 50 %, ГОСТ 1672—80, ГОСТ 9206—80E	Угломер маятниковый ЗУРИ, ТУ 2-034-666—77 Образцы шероховатости поверхности, ГОСТ 9378—75	0,005—0,01	0,5	3150	20—25	0,7	0,5
	3	Снять резец	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 5.6

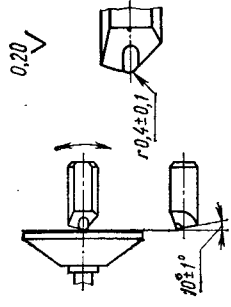
№ операции	№ перехода	Инструмент		Режим шлифования				T _{осн}	T _в
		режущий	измерительный	t, мм/дв. ход	S, м/мин	n, мин ⁻¹	v, м/с		



6	1	Закрепить резец в тисках	—	—	—	—	—	—	—	
	2	Довести переднюю поверхность	Круг шлифовальный 12A2 (125—150) × 10 × 32 АСН 50/40 (Т02, Б1) 50 %, ГОСТ 1672—80, ГОСТ 9206—80E	Угломер маятниковый ЗУРИ, ТУ 2-034-666—77 Образцы шероховатости поверхности, ГОСТ 9378—75	0,005—0,01	0,5	3150	20—25	0,6	0,5
	3	Снять резец	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 5.6

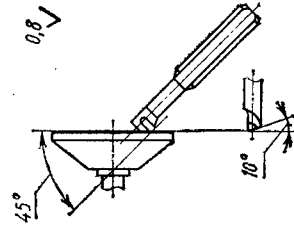
№ операции	№ перепада	Содержание перепада	Инструмент		Режим шлифования				T _{осн}	T _в
			режущий	измерительный	t _{дв} , мм/дв. ход	S _{дв} , м/мин	n, мин ⁻¹	v, м/с		



1	Закрепить резец в приспособление	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	Заточить радиус при вершине	Круг шлифовальный 12A2 (125—150) × 10 × 32 АСН 50/40 (ТО2, Б1) 50 %, ГОСТ 1672—80, ГОСТ 9206—80Е	Угломер маятниковый ЗУРИ, ТУ 2-034-666—77 Образцы шероховатости поверхности, ГОСТ 9378—75	0,005—0,01	Ручная	3150	20—25	1,0	1,0	1,0
3	Снять резец	—	—	—	—	—	—	—	—	—

5.7. Последовательность повторной заточки реза для координатно-расточных станков, оснащенного композитом 01, 02 или 10, на универсально-заточных станках ЗБ642, ЗБ642, ЗМ642, ЗМ642Е и других с помощью трехножчатых тисков

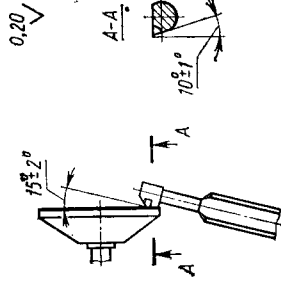
№ операции	№ перепада	Содержание перепада	Инструмент		Режим шлифования				T _{осн}	T _в
			режущий	измерительный	t _{дв} , мм/дв. ход	S _{дв} , м/мин	n, мин ⁻¹	v, м/с		



1	Закрепить резец в тисках	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	Заточить главную заднюю поверхность	Круг шлифовальный 12A2 (125—150) × 10 × 32 АС4 100/80 (ТО2, Б1) 100 %, ГОСТ 1672—80, ГОСТ 9206—80Е	Угломер маятниковый ЗУРИ, ТУ 2-034-666—77 Образцы шероховатости поверхности, ГОСТ 9378—75	0,03—0,04	2—3	3150	20—25	1,0	1,0	0,5
3	Снять резец	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 5.7

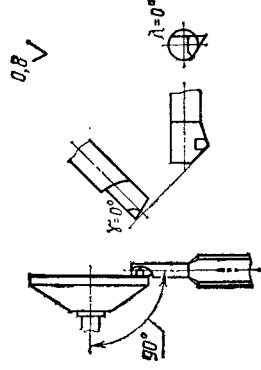
№ операции	№ перепада	Содержание перепада	Инструмент		Режим шлифования				T _{осн}	T _в
			режущий	измерительный	t, мм/дв. ход	S, м/мин	n, мин ⁻¹	v, м/с		



1	Закрепить резец в тисках	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	Заточить вспомогательную поверхность	Круг шлифовальный 12А2 (125—150)×10×32 АС4 100/80 (Т02, Б1) 100 %, ГОСТ 1672—80, ГОСТ 9206—80Е	Угломер маятниковый ЗУРИ, ТУ 2-034-666—77 Образцы шероховатости поверхности, ГОСТ 9378—75	—	0,03—0,04	2—3	3150	20—25	1,0	0,5
3	Снять резец	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 5.7

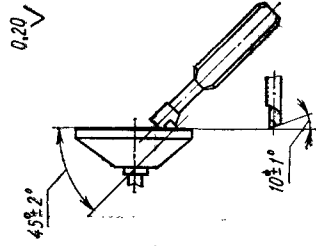
№ операции	№ перепада	Содержание перепада	Инструмент		Режим шлифования				T _{осн}	T _в
			режущий	измерительный	t, мм/дв. ход	S, м/мин	n, мин ⁻¹	v, м/с		



1	Закрепить резец в тисках	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	Заточить переднюю поверхность	Круг шлифовальный 12А2 (125—150)×10×32 АС4 100/80 (Т02, Б1) 100 %, ГОСТ 1672—80, ГОСТ 9206—80Е	Угломер маятниковый ЗУРИ, ТУ 2-034-666—77 Образцы шероховатости поверхности, ГОСТ 9378—75	—	0,03—0,04	2—3	3150	20—25	0,9	0,5
3	Снять резец	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 5.7

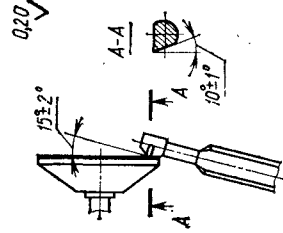
№ операции	№ перехода	Содержание перехода	Инструмент		Режим шлифования				T _{осн}	T _в
			режущий	намерительный	t, мм/дв. ход	S, м/мин	v, мин ⁻¹	v, м/с		



1	Закрепить резец в тисках	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	Довести главную заднюю поверхность	Круг шлифовальный 12А2 (125—150)Х × 10×32 АСН 50/40 (Т02, Б1) 50 %, ГОСТ 1672—80, ГОСТ 9206—80Е	Угломер маятниковый ЗУРИ, ТУ 2-084-666—77 Образцы шероховатости поверхности, ГОСТ 9378—60	0,005—0,10	0,5—1,0	3150	20—25	1,0	0,5	0,5
3	Снять резец	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 5.7

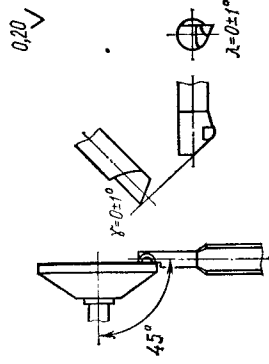
№ операции	№ перехода	Содержание перехода	Инструмент		Режим шлифования				T _{осн}	T _в
			режущий	намерительный	t, мм/дв. ход	S, м/мин	v, мин ⁻¹	v, м/с		



1	Закрепить резец в тисках	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	Довести вспомогательную заднюю поверхность	Круг шлифовальный 12А2 (125—150)Х × 10×32 АСН 50/40 (Т02, Б1) 50 %, ГОСТ 1672—80, ГОСТ 9206—80Е	Угломер маятниковый ЗУРИ, ТУ 2-085-666—77 Образцы шероховатости поверхности, ГОСТ 9378—75	0,005—0,01	0,5—1,0	3150	20—25	0,7	0,5	0,5
3	Снять резец	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 5.7

№ операции	№ перехода	Инструмент		Режим шлифования				Т _{осн}	Т _в
		режущий	измерительный	t, мм/дв. ход	S, м/мин	n, мин ⁻¹	v, м/с		

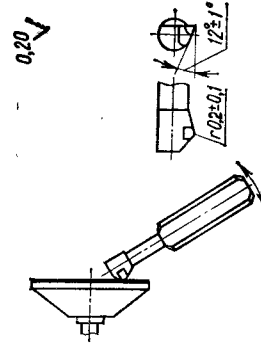


1	Закрепить резец в тисках	—	—	—	—	—	—	—	—
2	Довести переднюю поверхность	Круг шлифовальный 12А2 (125—150)Х × 10Х32 АСН 50/40 (ТО2, Б1) 50 %, ГОСТ 1672—80, ГОСТ 9206—80Е	Угломер маятниковый ЗУРИ, ТУ 2-034-666—77 Образцы шероховатости поверхности, ГОСТ 9378—75	0,005—0,01	0,5—1,0	3150	20—25	0,6	0,5
3	Снять резец	—	—	—	—	—	—	—	—

6

Продолжение табл. 5.7

№ операции	№ перехода	Инструмент		Режим шлифования				Т _{осн}	Т _в
		режущий	измерительный	t, мм/дв. ход	S, м/мин	n, мин ⁻¹	v, м/с		



1	Закрепить резец в приспособлении	—	—	—	—	—	—	—	—
2	Заточить радиус при вершине	Круг шлифовальный 12А2 (125—150)Х × 10Х32 АСН 50/40 (ТО2, Б1) 50 %, ГОСТ 1672—80, ГОСТ 9206—80Е	Угломер маятниковый ЗУРИ, ТУ 2-034-666—77 Образцы шероховатости поверхности, ГОСТ 9378—75	0,005—0,01	Ручная	3150	20—25	1,0	1,0
3	Снять резец	—	—	—	—	—	—	—	—

7

Трудность обработки СТМ обусловлена прежде всего незначительным превышением твердости абразивного материала (алмазных зерен) по сравнению с твердостью обрабатываемых поликристаллов. Вследствие высокой интенсивности изнашивания зерен, особенно при заточке алмазных резцов, возникает необходимость поддержания постоянной развитости микро- и субмикрорельефа рабочей поверхности круга. Достоинством кругов на орга-

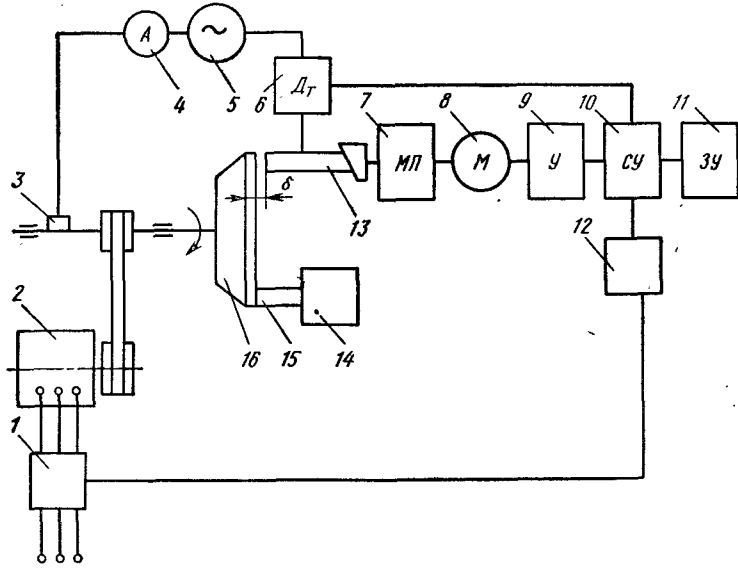


Рис. 5.1. Электрическая схема модернизации универсально-заточного станка, обеспечивающей управление рельефом рабочей поверхности алмазного круга

нических связках является их способность к самозатачиванию, что весьма удобно в производственных условиях. Однако при этом чрезвычайно велик расход кругов, и контактное давление на порядок больше, чем при заточке твердосплавного инструмента. Именно большие контактные давления и их колебания являются одной из причин брака при заточке СТМ под воздействием температурно-силового фактора. Более широкими технологическими возможностями обладает заточка СТМ алмазными кругами на металлических связках с непрерывным автономным электрофизическим управлением их рабочим рельефом; при этом связка удаляется с поверхности круга непосредственно в процессе шлифования. Модернизация обычного универсально-заточного станка позволяет резко повысить производительность и качество заточки резцов из СТМ, прежде всего — из синтетических алмазов. Отрицательный полюс источника питания 5 (рис. 5.1) подключен к автономному катоду 13, а положительный — через токосъемник 3

5.8. Рекомендуемые условия заточки инструмента из СТМ

Способ обработки	Основа СТМ	Условия шлифования				Показатели процесса			
		Связка круга	Зернистость, мкм	Конденсация, К, %	Сила тока I, А	Сноп, мм/дв. ход	Эффективная мощность Nэф, кВт	Удельный расход круга q, мг/мм ²	Контактное давление P, МПа
Кругами на органической связке с СОЖ (вода + 2% NaCO ₃); расход СОЖ 8 л/мин (обычная заточка)	Алмаз	Б1	125/100; 160/125	50—100	—	0,02—0,03	2,4—4,0	30—80	26—46
		ТО2	125/100; 160/125	50—100	—	0,03—0,04			
	Нитрид бора	Б1	80/63; 125/100	50—100	—	0,05—0,08	0,9—2,7	1,5—5,0	8—16
		ТО2	80/63; 125/100	50—100	—	0,06—0,10			
Кругами на металлических связках с электрофизическим управлением рельефом (электролит: вода + 5% NaNO ₃ + 0,5% NaNO ₂)	Алмаз	М1-01; М1-02; М2-02; МО4; МО13 и др.	100/80; 125/100	40—75	50—60	0,02—0,03	0,7—1,5	15—30	3—5
		То же	80/63— 125/100	40—75	20—30	0,1—0,2	0,4—0,6	0,3—0,7	0,5—1,0

Примечание. Круга 12А2—45 150×10×3×32; скорость круга 18—25 м/с; продольная подача — до 3 м/мин.

к алмазному кругу 16 на токопроводящей связке. Необходимая интенсивность удаления связки задается силой тока в цепи управления, которая регулируется изменением межэлектродного зазора δ и контролируется с помощью амперметра 4. Устойчивость рабочего рельефа круга достигается автоматизацией процесса. Сигнал обратной связи с датчика тока 6 поступает в сравнивающее устройство 10, где сравнивается с заданным опорным сигналом, поступающим со стабилизированного источника 11. При уменьшении силы тока в межэлектродном зазоре δ по мере изнашивания круга образуется сигнал рассогласования, который со сравни-

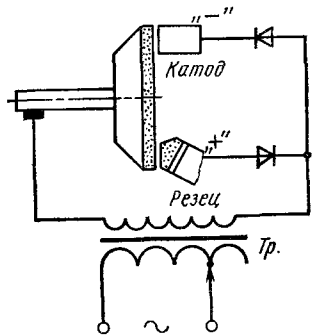


Рис. 5.2. Принципиальная схема модернизации универсально-заточного станка, обеспечивающей одновременную правку круга и разупрочнение обрабатываемой поверхности резца

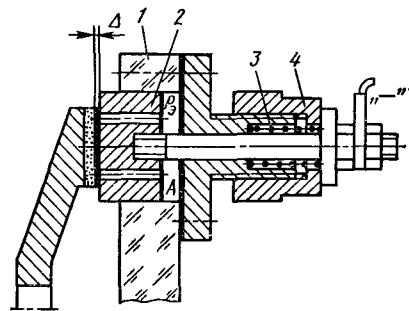


Рис. 5.3. Конструкция катода, обеспечивающего работу алмазного круга на металлической связке в режиме самозаточивания

вающего устройства 10 поступает на фазочувствительный усилитель 9 и далее на реверсивный асинхронный двигатель 8 механизма подачи 7 катода 13. Стабильность шлифования заготовки 15, установленной в держателе 14, обеспечивается также следящей системой управления режущей поверхностью круга по мощности резания (электродвигатель 2 — датчик 1 — сумматор 12).

Описанный способ обеспечивает высокую производительность заточки при невысоком расходе алмазов и позволяет примерно на порядок снизить контактное давление, уменьшить мощность, температуру шлифования и брак изделий по сравнению с обработкой кругами на органических связках. Рекомендуемые условия заточки СТМ приведены в табл. 5.8.

На предприятии по производству тракторов заточные станки модернизированы в направлении одновременной правки рабочей поверхности алмазного круга и травления обрабатываемой поверхности резца из СТМ. Принципиальная электрическая схема (рис. 5.2) состоит из регулируемого силового трансформатора *Tr* и двух вентилях В320; схема снабжена также необходимыми

сигнальными, блокировочными и регистрирующими приборами. Схема построена таким образом, что цепь правки работает только при включении главного привода, а цепь травления — при включении движения подачи. Катод, обеспечивающий работу круга на металлической связке в режиме самозаточивания, представляет собой устройство 2 (рис. 5.3), которое уравнивается в корпусе 1 давлением P_0 электролита в полости *A* и в зазоре в зоне контакта. Таким образом, катод контактирует с рабочей поверхностью круга только через слой электролита и практически не изнашивается. Стабильность заданной плотности тока поддерживается постоянством зазора Δ с помощью гайки 4 и пружины 3. Разупрочнение поверхностного слоя обрабатываемого СТМ путем травления способствует повышению производительности и качества заточки.

6. СТАНКИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ, ОСНАЩЕННЫХ СТМ И КЕРАМИКОЙ

Установлено, что наибольшая технико-экономическая эффективность применения инструмента из СТМ и керамики достигается при его эксплуатации в оптимальных условиях, которые характеризуются высокими скоростью резания, жесткостью и виброустойчивостью станка и системы станок—приспособление—инструмент—заготовка, стабильностью размеров и физико-механических характеристик заготовок.

Требование высоких жесткости и виброустойчивости оборудования и всей системы станок—приспособление—инструмент—заготовка обусловлено не только тем, что инструмент из СТМ и керамики применяют, как правило, для изготовления деталей с высокой точностью и низкой шероховатостью, но и весьма существенной зависимостью стойкости режущего инструмента из СТМ и керамики от упомянутых характеристик станка. Большое значение имеют жесткость станка, равномерность вращения шпинделя и движения подачи, а также кинематическая точность вращения шпинделя. Важным фактором является не только жесткость самого шпинделя и механизма его крепления, но и общая жесткость станка. Экспериментальные исследования показали, что при торцовом фрезеровании жесткость привода станка влияет на сопротивление выкрашиванию режущих кромок, в то время как общая жесткость станка влияет на износ режущих инструментов.

Пример полученной экспериментальным путем корреляционной зависимости между жесткостью станка и стойкостью инструмента при чистовом фрезеровании плоскости блока показан на рис. 6.1. Как видно, стойкость инструмента повышается с увеличением общей жесткости станка, однако, если при высокой общей жесткости жесткости привода станка недостаточна, то происходит выкрашивание режущих кромок, т. е. инструменты выходят из строя вследствие выкрашивания быстрее, чем вследствие нормального изнашивания.

У станка ММ60V (Япония) общая жесткость в 4 раза, а жесткость шпинделя в 3 раза больше, чем у серийных станков, и соответственно в 2 и 1,1 раза больше, чем у тяжелого продольно-фрезерного станка. Из графика, приведенного на рис. 6.1, видно,

Станки для эффективной эксплуатации режущих инструментов

что общая жесткость более существенно влияет на стойкость фрезы с пластинами из керамики. Так, при работе на станке ММ60V и продольно-фрезерном с примерно одинаковой жесткостью шпинделя стойкость фрезы по критерию $h_z = 0,3$ мм в первом случае составляет 500 деталей (125 мин), а во втором — 300 деталей (75 мин), т. е. в 1,67 раза меньше (общая жесткость

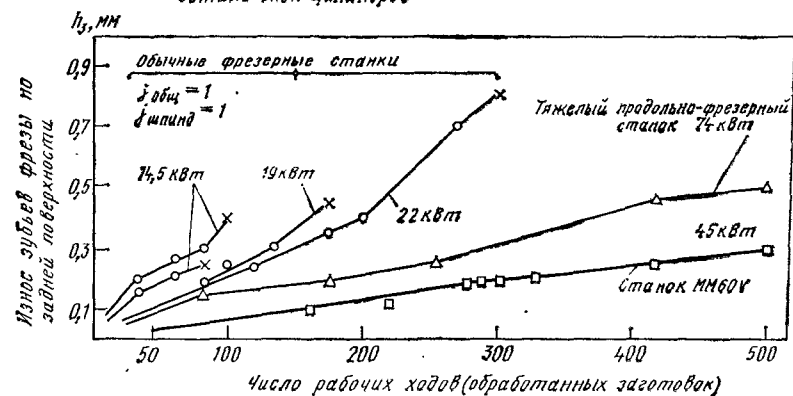
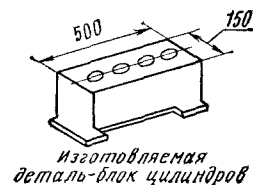


Рис. 6.1. Зависимость износа торцевой фрезы диаметром 300 мм, $z = 24$ с пластинами из оксидно-карбидной керамики от жесткости фрезерного станка J при обработке плоскости блока цилиндров двигателя из чугуна с $v = 400$ м/мин ($n = 400$ мин⁻¹; $S_z = 0,26$ мм/зуб; $S_M = 2000$ мм/мин, $t = 0,5$ мм (для тяжелого продольно-фрезерного станка $J_{общ} = 2$, $J_{шпинд} = 2,75$, для станка ММ60V $J_{общ} = 4$, $J_{шпинд} = 3$))

станка ММ60V в 2 раза выше). При работе на наиболее мощном (22 кВт) обычном станке стойкость фрезы составила всего около 140 деталей (35 мин). Для эффективного применения фрез, оснащенных СТМ и керамикой, необходимы станки, которые имеют в 2 раза большую общую жесткость и в 3 раза большую жесткость привода, чем у аналогичных обычных станков прежних конструкций. Для повышения общей жесткости станка использовали конструкцию с минимальными деформациями. Система поперечной подачи шпиндельной головки определяет общую компактность станка. Поскольку наличие любых направляющих поверхностей существенно снижает общую жесткость конструкции станка в местах сопряжения, применили принцип предварительного нагружения в направлении, противоположном направлению

силы резания под действием уравнивающего груза. Жесткость системы подачи достигается предварительным натягом. Важным фактором является также равномерность вращения шпинделя и перемещения подачи. Для обеспечения равномерности вращения шпинделя маховик на нем установлен близко к инструменту для устранения колебаний скорости резания за счет перегрузок или вибраций в системе привода. Для достижения равномерности перемещения подачи в качестве привода применяют электродвигатель постоянного тока, а также винты с шариковыми гайками. Третьей важной характеристикой является кинематическая точность вращения шпинделя. Точность вращения на торце шпинделя, которая непосредственно связана с биением зубьев фрезы, в случае чистовой обработки оказывает влияние не только на точность обработки, но и на стойкость инструмента. В результате на станке при чистовой обработке ($t = 0,5$ мм) верхней плоскости чугунного блока цилиндров автомобильного двигателя фрезой диаметром 300 мм с пластинами из керамики ($z = 24$) благодаря высокой скорости резания (440 м/мин) была достигнута очень низкая шероховатость поверхности, получить которую с помощью твердосплавных инструментов трудно. При биении зубьев фрезы не более 0,01 мм $Ra \approx 1$ мкм. Благодаря высокой скорости подачи [2250 мм/мин ($S_z \approx 0,3$ мм/зуб)] и эффективному теплоотводу от обрабатываемой заготовки по всей поверхности изделия отклонение от плоскостности составляло 0,01—0,015 мм (базирование по трем точкам). Ширина фрезеруемой поверхности $B = 125$ мм, длина блока $l = 630$ мм. Период стойкости составил 600—650 деталей (168—182 мин). При черновом фрезеровании с глубиной резания 3 мм и подачей 1800 мм/мин стойкость составила 350—400 деталей (123—140 мин). После дальнейшего усовершенствования кинематической схемы и увеличения точности станка ММ60V период стойкости фрез с пластинами из керамики удалось довести при чистовом фрезеровании до 1000, а при черновом до 700 деталей и более.

Для обеспечения скорости 5000 м/мин при точении деталей диаметром 100 и 160 мм частота вращения шпинделя должна быть соответственно 16 000 и 10 000 мин⁻¹. При этом токарные станки среднего размера с гидростатическими подшипниками в передней и задней бабках должны иметь мощность привода 80—100 кВт. Резко возрастают также скорости подач, что требует создания новых систем ЧПУ для получения достаточной точности контура.

Для оценки работоспособности токарных станков и шпиндельных узлов в НПО ЭНИМС были приняты шесть условных характеристик.

1. Производительность (кВт·мм/мин) резания

$$K = \frac{N(D_{\max}n_{\max})}{10^7}, \quad (6.1)$$

где N — мощность привода главного движения, кВт; D_{\max} — наибольший диаметр обрабатываемой заготовки; n_{\max} — максимальная частота вращения шпинделя, мин⁻¹.

Величина N характеризует нагрузочную способность станка, а $(D_{\max}n_{\max})$ — теоретически достижимую скорость резания.

2. Удельная нагрузка на станок (кВт/мм)

$$K_1 = \frac{N}{D_{\max}}. \quad (6.2)$$

3. Коэффициент быстроходности станка (мм/мин)

$$K_2 = 10^{-5}D_{\max}n_{\max}. \quad (6.3)$$

4. Удельная нагрузка (кВт/мм) опор шпинделя

$$K_3 = \frac{N}{d}, \quad (6.4)$$

где d — диаметр шейки шпинделя в передней опоре (характеристика размеров шпиндельных узлов).

5. Быстроходность (мм/мин) шпиндельных узлов и подшипников качения

$$K_4 = 10^{-5}dn_{\max}. \quad (6.5)$$

6. Коэффициенты, характеризующие работоспособность шпиндельных узлов $\left(\frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{мкм} \cdot \text{мин}}\right)$,

$$K_5 = 10^{-4}j_m(dn_{\max}); \quad (6.6)$$

$$K_6 = 10^{-4}j_n(dn_{\max}), \quad (6.7)$$

где j_m — радиальная жесткость шпиндельного узла, $\frac{\text{Н}}{\text{мкм}}$; j_n — радиальная жесткость подшипников передней опоры шпинделя, $\frac{\text{Н}}{\text{мкм}}$.

Токарные станки, на которых выполняют работу инструментом из СМТ и керамики, должны обладать следующими характеристиками работоспособности (меньшие значения, кроме K_4 — для малых диаметров): $K = 4 \dots 16$ кВт·мм/мин; $K_1 = 50 \dots 150$ кВт/мм; $K_2 = 15 \dots 25$ мм/мин; $K_3 = 200 \dots 600$ кВт/мм; $K_4 = 4,5 \dots 6,0$ мм/мин; $K_5 = 150 \dots 350$ Н·мм/(мкм·мин).

Уровень жесткости шпиндельных узлов должен быть следующим:

Диаметр шейки шпинделя d , мм	80—90	100—110	120—140	> 140
Радиальная жесткость узла j_m , Н/мкм	35—45	40—65	60—80	80—250

6.1. Технические характеристики фрезерных станков, необходимые для эффективного применения инструмента из СТМ и керамики

Станки	Диаметр фрезы, мм	Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹ *	Продольная подача, мм/мин*	Мощность главного привода, кВт (не менее)	
					Вертикальные консольно-фрезерные (ширина стола 320—400 мм)
Вертикально-фрезерные с крестовым столом (ширина стола 400—1000 мм)	125—315	$\frac{400-5\ 000}{2\ 000-15\ 000}$	$\frac{40-4\ 000}{300-10\ 000}$	30—55	
Продольно-фрезерные с шириной стола, мм: 500—1000	200—400	$\frac{200-4\ 000}{1\ 000-10\ 000}$	$\frac{40-4\ 000}{300-10\ 000}$	30—55	
св. 1000	250—400	$\frac{160-3\ 150}{1\ 000-10\ 000}$	$\frac{40-4\ 000}{300-10\ 000}$	45—75	
Карусельно-фрезерные (диаметр стола 1000—2000 мм) со шпинделем для обработки:	черновой	250—630	$\frac{315-1\ 000}{1\ 000-4\ 000}$	$\frac{100-4\ 000}{300-8\ 000}$	30—55
		160—200	$\frac{800-2\ 500}{2\ 500-10\ 000}$		
	чистовой	250—630	$\frac{630-2\ 000}{2\ 000-8\ 000}$	На периметре стола	11—15
		160—200	$\frac{1\ 600-5\ 000}{2\ 500-15\ 000}$	То же	

Примечания: 1. Для специальных станков, оснащенных крупными фрезами гатала — увеличена (по сравнению с данными для продольно-фрезерных станков) про
2. Для очистки базовых поверхностей оснастки от стружки, охлаждения горячей из зоны обработки в сборники целесообразно применение обильного охлаждения водной на каждый зуб фрезы; после фильтрации в СОЖ не должно содержаться частиц размером

* В числителе — данные для обработки фрезами из композита, а в знаменателе — характеристики станков для обработки чугунов и цветных сплавов перекрываются.

** Для консольных станков перемещение δ может быть увеличено в 1,25 раза.

ного применения инструмента из СТМ и керамики

Суммарная жесткость, кН/мм (не менее)	Допуск параллельности обработанной поверхности образца его основанию, мкм			Допуск перпендикулярности обработанной поверхности образца оси шпинделя, мкм, на длине измеряемого участка, мм		
	До 400	Св. 400—630	Св. 630—1000	До 200	Св. 300	Св. 500
80 ** ($P = 16$ кН; $\delta = 0,20$ мм; стол $\varnothing 400$ мм)	12	16	—	12	—	—
110 ($P = 22$ кН; $\delta = 0,2$ мм; стол $\varnothing 630$ мм)	10	12	16	12	16	—
175 ($P = 35$ кН; $\delta = 0,2$ мм; стол $\varnothing 800$ мм)	8	10	12	12	20	30
250 ($P = 50$ кН; $\delta = 0,2$ мм; стол $\varnothing 1600$ мм)						
140 ($P = 28$ кН; $\delta = 0,2$ мм; стол $\varnothing 1000$ мм); 170 ($P = 34$ кН; $\delta = 0,2$ мм; стол $\varnothing 2000$ мм)	10	12	—	—	—	—

$\varnothing 500-800$ мм, частота вращения шпинделя должна быть уменьшена, а мощность пропорционально диаметру фрез. стружки, образующейся в больших объемах в единицу времени, и ее транспортировки эмульсией с обеспечением следующих условий: расход СОЖ — не менее 5 л/мин в расчете более 30 мкм.

для обработки алюминиевых и других цветных сплавов алмазным инструментом. Харак-

При внедрении сверхскоростного фрезерования чугунов и цветных сплавов инструментом из СТМ требуются шпиндельные узлы на подшипниках качения с $K_4 = 12 \dots 15$ мм/мин при $K_3 = 800 \dots 1000$ кВт/мм (для $d = 140$ мм это означает, что $n_{\max} = 850 \dots 10\,000$ мин⁻¹ и $N = 110 \dots 140$ кВт).

Повышение параметров работоспособности станков достигается прежде всего увеличением жесткости и быстроходности шпиндельных узлов. Для повышения работоспособности шпиндельных узлов необходимо наряду с модернизацией их конструкций (в первую очередь — на базе высокоскоростных радиально-упорных шарикоподшипников) совершенствовать технологию производства шпиндельных узлов (особенно средств измерения), систему смазывания, патроны, ремни, шестеренный привод, а также общие компоновочные решения (несущие системы) для обеспечения устойчивого резания в условиях высоких скоростей и нагрузок.

Таким образом, для рационального применения инструмента, оснащенного из СТМ и керамикой, необходимы качественно новые станки; простая модернизация действующего оборудования путем, например, увеличения частоты вращения шпинделя не может дать требуемого результата.

Фрезы, оснащенные СТМ на основе нитрида бора, в основном применяют для фрезерования плоскостей корпусных деталей из чугунов, в том числе по литейной корке с глубиной резания до 5—8 мм. Торцовые фрезы, оснащенные синтетическими поликристаллическими алмазами, применяют для фрезерования плоскостей аналогичных деталей из алюминиевых и других цветных сплавов. В первом случае оптимальные скорости резания 600—3000 м/мин, а во втором — они могут достигать 10 000 м/мин и более. При обработке алюминиевых сплавов припуски, как правило, не превышают 1—3 мм, однако вследствие сверхвысоких скоростей резания требования к мощности двигателя те же, что и при фрезеровании чугунов (табл. 6.1).

В основу табл. 6.1 положены данные стандартов для фрезерных и шлифовальных станков различных типов (табл. 6.2—6.4). Новые станки по точности должны приближаться к шлифовальным, а по жесткости — превосходить продольно-фрезерные станки повышенной точности.

Имеющиеся фрезерные станки (табл. 6.4) можно использовать для работы с помощью инструмента из СТМ. Однако в большинстве случаев реальные условия эксплуатации будут далеки от оптимальных, и, следовательно, технико-экономический эффект от внедрения будет ниже. Так, все вертикальные консольно-фрезерные станки нормальной степени точности обладают невысокой жесткостью, что не позволяет вести изготовление точных деталей. Кроме того, все они имеют малую мощность и не могут длительное время работать на предельно высоких частотах вращения шпин-

6.2. Точность обработки на некоторых фрезерных и продольно-шлифовальных станках различных типов

Длина измеряемого участка, мм	Станки							
	вертикальные консольно-фрезерные (ГОСТ 17734—81Е)		вертикально-фрезерные с крестовым столом (ГОСТ 9726—83Е)		продольно-фрезерные (ГОСТ 18101—79Е)		продольно-шлифовальные (ГОСТ 13135—80Е)	
	Н	П	Н	П	Н	П	П	В

Допуск параллельности обработанной поверхности образца его основанию, мкм

До 160	16	10	—	—	—	—	—	—
Св. 160—250	20	12	16	10	12	8	5	3
» 250—400	25	16	20	12	16	10	6	4
» 400—630	30	20	25	16	20	12	8	5
» 630—1000	—	—	30	20	32	20	10	6

Допуск перпендикулярности обработанных поверхностей образца, мкм

До 100	20	12	—	—	—	—	—	—
Св. 100—200	—	—	12	8	20	12	12	8
» 200—300	—	—	16	10	30	20	20	12
» 300—500	—	—	—	—	40	25	30	20

Обозначения: Н, П, В — классы точности станков.

деля, хотя даже при $n_{\max} = 2500$ мин⁻¹ скорость резания фрезой диаметром 160 мм составляет всего 1256 м/мин. Станки с крестовым столом обладают хорошей жесткостью, но имеют низкую быстроходность (только у станков 65А60Ф1 и 65А60Ф4 скорость и мощность приближаются к требуемым).

Из всех компоновок фрезерных станков модели продольного типа обладают наибольшей жесткостью. Однако для полной реализации возможностей инструментов из СТМ, особенно при обработке с глубинами резания 4—7 мм фрезами диаметром 250—400 мм, эти станки не обладают требуемыми мощностью и скоростью.

На карусельно-фрезерных станках применение фрез из СТМ в настоящее время практически невозможно, так как шпиндель для черновой обработки не обеспечивает съема припуска вследствие недостаточной мощности двигателя. Кроме того, точность карусельно-фрезерных станков ниже, чем консольно-фрезерных.

6.3. Суммарная жесткость $j = P/\delta$, кН/мм, фрезерных и продольно-шлифовальных станков различных типов

Ширина стола, мм	Класс точности	Станки											
		вертикальные консольно-фрезерные			вертикально-фрезерные с крестовым столом			продольно-фрезерные			продольно-шлифовальные		
		P, кН	δ , мм	j , кН/мм	P, кН	δ , мм	j , кН/мм	P, кН	δ , мм	j , кН/мм	P, кН	δ , мм	j , кН/мм
400	Н П	20 16	0,63 0,40	32 40	20 16	0,45 0,28	44 57	12 10	0,19 0,15	63 67	— 1,7	— 0,16	— 10,6
500	Н П	— —	— —	— —	25 20	0,50 0,32	50 62	16 13	0,21 0,17	71 76	— 2,25	— 0,18	— 12,5
630	Н П	— —	— —	— —	31,5 25	0,56 0,36	56 69	20 16	0,24 0,15	83 106	— 3,00	— 0,20	— 15,0
800	Н П	— —	— —	— —	42,5 33,5	0,63 0,40	67 84	25 20	0,26 0,17	96 117	— 3,75	— 0,22	— 17,0
1000	Н П	— —	— —	— —	55 45	0,71 0,45	77 100	32 26	0,30 0,19	106 136	— 5,30	— 0,25	— 21,0
1250	Н П	— —	— —	— —	— —	— —	— —	41 33	0,34 0,21	120 157	— 7,10	— 0,28	— 25,4
1600	Н П	— —	— —	— —	— —	— —	— —	51 41	0,38 0,24	134 170	— —	— —	— —

6.4. Технические характеристики некоторых фрезерных многоцелевых станков

Станки	Класс точности	Площадь рабочей поверхности или диаметр стола, мм	Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	Скорость подачи стола, мм/мин	Мощность главного привода, кВт
Консольно-фрезерные: 6P12; 6T12-1	Н	320×1250	31,5—1600	25—1250 или 12,5—1600	7,5
6P12Б 6P13; 6T13-1		320×1250 400×1600	50—2500 31,5—1600	40—2000 25—1250 или 12,5—1600	11,0 11,0
6P13Б 6P13Ф3; 6T13Ф3-1		400×1600 400×1600	50—2500 40—2000	40—2000 3—4800	15,0 7,5

Продолжение табл. 6.4

Станки	Класс точности	Размеры рабочей поверхности или диаметр стола, мм	Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	Скорость подачи стола, мм/мин	Мощность главного привода, кВт
Вертикальные с крестовым столом: 654; 6560; 6560Ф1	Н	630×1600	25—1250	10—1200 или 1—4800	15,0
6560Ф3 65А60Ф1; 65А60Ф4		630×1600 630×1250	5,6—1600 2—2000	1—4800 1—6000	15,0 20,0
6А56 6А59		800×2000 1000×2500	25—1250 25—1250	6—1000 6—1000	22,0 22,0
Продольно-фрезерные: 6605 6605Ф1	Н	500×1600 500×1600	16—1600 25—1250 или 31,5—1600	10—300 2,5—4000	7,5 11,0
6606 6606Ф1		630×2000 630×2000	16—1600 25—1250 или 31,5—1600	10—3000 2,5—4000	11,0 15,0
6Г608 6М608; 6М608Ф1 6Г610 6М610; 6М610Ф1 6У612; 6У312 6У616; 6У316		800×2500 800×2500 1000×3150 1000×3150 1250×4000 1600×5000	16—1250 10—1250 16—1250 10—1250 25—1250 25—1250	10—2500 4—3000 10—2500 4—3000 5—1000 5—1000	13,0 30,0 17,0 30,0 22,0 22,0
Карусельно-фрезерные: 621М (отклонение от параллельности 30 мкм на длине 300 мм) 621О610 621ОС11 (30 мкм/300 мм) 6А23 6М23С13 4Ф99 (25 мкм/500 мм)	Н	1000	63—1000 (черновой) 100—1600 (чистовой) 500—1000 (черновой) 800—1600 (чистовой)	100—1250 100—1250 125—1600 125—1600	7,5 или 10,0 11,0 или 7,5 11,0 или 7,5 13,0 17,0 15,0

Продолжение табл. 6.4

Станки	Клас- с точ- ности	Площадь рабочей поверх- ности или диаметр стола, мм	Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	Скорость подачи стола, мм/мин	Мощ- ность главного привода, кВт
Многоцелевые станки:					
ЛФ260МФ3	Н	250×630	31,5—1600	5—1200	8,0
ИР320ПМФ4	П	320×320	12,5—5000	1—3200	7,5
21104Н7Ф4 ***	Н	400×630	30—3000 (40—4000)*	20—2000	5,5 (8,5)*
2204ВМФ4	В	400×500	31,5—3150 (50—5000)**	1—4000	6,3 (8,0); 11,0)*
ИР500ПМФ4	П	500×500	21,2—3000 (37,5— 5300)*	1—2000	14,0 (22,0)*
2206ВМФ4	В	630×800	25—2500 (50—5000)*	1—4000	11,0 (15,0)*
2Е450АМФ4 ***	А	630×1120	10—2000 (15—3000)	1—6000	7,2
ИР800ПМФ4	П	800×800	21,2—3000 (37,5— 5300)*	1—2000	14,0 (22,0)*
2623ПМФ4	П	1120×1250	5—1250	2—1600	20,0
ИР1600ПМФ4	П	Плита	5—2000	1—2000	28,0 (42,0)*

* Указанное в скобках — по заказу.

** Частота вращения шпинделя накладной головки.

*** Чистовые работы с малыми съемами.

Скоростная характеристика многоцелевых станков в большинстве случаев соответствует условиям эксплуатации инструмента из СТМ. На таких станках применение торцовых фрез и расточных резцов из СТМ при обработке плоскостей и отверстий корпусных деталей взамен твердосплавного инструмента наиболее эффективно. При работе на станках класса точности П по ГОСТ 13135—80Е, с толщиной срезаемого слоя 0,1—0,5 мм, допуск прямолинейности фрезерованной поверхности составляет 0,01—0,02 мм на длине 1000 мм, а параметры шероховатости $Ra = 0,63 \dots 2,5$ мкм.

Фрезерование инструментом из СТМ в станкостроении наиболее широко применяется при обработке горизонтальных, вертикальных и наклонных плоскостей чугуновых корпусных и базовых деталей на продольно-шлифовальных станках. Торцовые фрезы устанавливают на шпинделе поворотной шлифовальной бабки станка вместо чашечного шлифовального круга. Фрезерование инструментом из СТМ взамен шлифования рекомендуется применять на станках, приведенных в табл. 6.5—6.6, а также на любых других продольно-шлифовальных станках классов точности П и В [1].

6.5. Технические характеристики эксплуатирующихся в СССР одностоечных продольно-шлифовальных станков, рекомендуемых для работы торцовыми фрезами из СТМ (по данным НПО ЭНИМС)

Станок	Изготови- тель	Наибольшие размеры обрабаты- ваемого изделия, мм		Скорость перемеще- ния стола (стойки), м/мин	Поворотная шлифовальная бабка			
		Ши- рина	Дли- на		Тип	Мощность привода, кВт	Диаметр чашеч- ного круга (фрезы), мм	Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹
ЗА530	СССР	800	2000	1,5—15	I	3,0	75—175	2850
					II	3,0	75—175	2850
ЗА544	СССР	1150	4000	1,0—12	—	2,2	150—175	2900
ЗД544	СССР	1250	4000	2,5—20	—	5,5	150—175	2790
IOFS-4	«Шнайдер», ФРГ	1000	3200	1,0—25	I	2,2	50—150	1000—5000
					II	3,0	50—200	1000—4500
IOWFS-4	То же	1200	5000	1,0—12	I	3,0	50—150	1000—5000
					II	3,7	50—200	1000—4500
					III	5,5	50—300	1000—4000
ТН110	«Биллетер», ФРГ	1100	5000	1,0—10	—	3,0	50—150	2850

Для обеспечения безвибрационной работы продольно-шлифовальных станков рекомендуется работать многозубыми фрезами. До установки на станок фрезу необходимо статически отбалансировать подобно тому, как балансируют шлифовальные круги в сборе с фланцами. Для контроля за нагрузкой на электродвигатель привода шпинделя станок нужно оснастить указателем нагрузки или амперметром. Для защиты от чугунной стружки фрезу следует закрыть кожухом (таким же, каким закрывают чашечный шлифовальный круг); на уровне зубьев фрезы на кожухе должен быть закреплен резиновый фартук с прорезями. На столе станка в зоне обработки должны быть установлены щитки таким образом, чтобы их верхняя кромка была на 150—250 мм выше уровня обрабатываемой поверхности.

Требования к алмазно-расточным станкам: точность — не ниже класса В; число шпинделей — не более четырех (каждый из них должен иметь индивидуальный привод); в клиноремной передаче должно быть минимально возможное число промежуточных шкивов и должны отсутствовать проскальзывание при передаче требуемой мощности на шпиндель расточной головки; расточные оправки должны иметь повышенные жесткость и виброустойчивость при частоте вращения не менее 2500 мин⁻¹ для диаметра растачиваемой поверхности 100 мм; расточные оправки должны оснащаться многомассными виброгасителями и перед установкой на шпиндели балансироваться; на станке необходимо использо-

6.6. Технические характеристики эксплуатирующихся в СССР двухстоечных продольно-шлифовальных станков, рекомендуемых для работы торцовыми фрезами из СТМ [1]

Станок	Изготовитель	Размеры рабочей поверхности стола, мм		Скорость перемещения стола, м/мин	Поворотная шлифовальная бабка			
		Ширина	Длина		Тип	Мощность привода, кВт *	Диаметр чашечного круга (фрезы), мм	Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹
3535	СССР	630	2500	1,0—30	—	4,7/5,5	150	1450/2900
3508	СССР	710	3000	2,0—25	—	4,0	150	2880
МС510Ф1	СССР	1000	3150	1,0—50	—	15,0	150	970—2500
3510	СССР	9000	4000	2,0—25	—	2,8	150	3000
2525	«Вальдрик Кобург», ФРГ	1250	6000	1,0—45	S10	7,5	—	600—2800
					S15	11,0	—	500—2500
3030	То же	1500	6000	1,0—45	S10	7,5	—	600—2800
					S15	11,0	—	500—2500
Серия SZ	Станкостроительный комбинат им. Ф. Геккерта, ГДР	800—1000—1250—1800	3000—10 000—4000—10 000	2,0—50	I	3,0/3,5	63—200	1500/3000
				1,0—50	II	7,0	63—200	1000—3000

* В числителе — для первого исполнения, в знаменателе — для второго исполнения

вать быстродействующие приспособления с полуавтоматической загрузкой заготовок в рабочие позиции.

Следует отметить, что инструменты из СТМ и керамики могут применяться на станках других моделей, имеющихся в действующем парке станков страны и соответствующих установленным для них нормам точности и жесткости; при этом целесообразность внедрения должна определяться в каждом конкретном случае на основе оценочных экспериментов и расчета ожидаемого экономического эффекта.

Основные характеристики станков, пригодных для эффективной эксплуатации инструмента из СТМ и керамики, приведены в табл. 6.7.

6.7. Станки для эффективной эксплуатации инструмента из СТМ и керамики

Станки токарной группы

Оборудование	d или d x l, мм	Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	Мощность привода N, кВт	Масса станка, т
Многооперационный токарно-револьверный прутково-патронный автомат 11Б40ПФ4 * с ЧПУ повышенной точности	40 x 125	40—4000	15	5
Токарный гибкий производственный модуль 11Б40ПФ4М* для комплексной обработки деталей из прутка высокой точности	40	50—4000	15	6
Многооперационный токарно-револьверный гибкий производственный модуль 1П420ПФ30РМ * для патронно-прутковой обработки	50	25—2500	30	9,5
Многооперационный токарно-револьверный одношпиндельный полуавтомат 1П420ПФ40 повышенной точности	40	25—2500	30	5,5
Токарно-револьверный одношпиндельный патронный полуавтомат 1П420ПФ30 с ЧПУ повышенной точности	40	25—3150	30	5
Токарно-револьверный гибкий производственный модуль АР1К02П *	65	25—1250; 50—2000	18,5; 30	9
Многоцелевой токарно-револьверный прутково-патронный полуавтомат 1П426Ф3 * повышенной точности	65	36—1800	18,5; 30	8
Токарно-револьверный полуавтомат 1П426Ф3 *, с ЧПУ повышенной точности	65	25—1250; 36—1800	18,5	6
Токарно-револьверный полуавтомат 1П426ДФ3 * с ЧПУ повышенной точности	65	25—1250; 50—2500	18,5; 22	7,8

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	d или d×l, мм	Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	Мощность привода N, кВт	Масса станка, т
Токарный станок 1805АФ30 * с ЧПУ особо высокой точности	250	63—4000	5,5	2,2
Токарно-винторезный станок 16Б05А особо высокой точности	250	25—2500 32—3200	1,5	1,25
Токарно-винторезный механизированный станок 16М05В высокой точности	250	16—3200 16—5000	2,35	1,435
Токарный модуль 16В16ПФ3ПМ для обработки валов	320×750	20—2500	11	4,6
Токарный станок 16Б16Т1 с ЧПУ повышенной точности	320×750	40—2000 56—2800	4,2 7,1	2,87 2,87
Токарный станок 16Б16Ф3 с ЧПУ повышенной точности	320×750	40—2000 50—2500	4,2 7,1	2,95
Токарный станок 16В16ПФ3 с ЧПУ повышенной точности	320×710	—	—	—
Токарно-винторезный станок 16Б16А особо высокой точности	320×750	20—2000 25—2500	3,2 5,3	2,1 3,0
Токарно-винторезный станок 16С16А особо высокой точности	320×750	4000	8	2,1
Токарно-винторезный станок 16Б16П повышенной точности	320×750; 320×1000; 320×1400	25—2500 20—2000 16—1600	4,2 7,1 —	2,1 — —
Токарный станок 16К20Т1 * с ЧПУ повышенной точности	400×710; 400×1000	22,4—2240 —	11 —	4,35 —
Токарный станок 16К20Ф3 с ЧПУ	400×710; 400×1000; 400×1400	22,4—2240 — —	11	4 — —
Токарный патронный станок 16К20РФ3 с ЧПУ	400	22,4—2240	11	4,25

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	d или d×l, мм	Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	Мощность привода N, кВт	Масса станка, т
Токарно-винторезный станок 16К20В высокой точности	400×750; 400×1000	16—2000 12,5—1600 —	5,5	3,225
Токарный полуавтомат РТ-724Ф3 * патронно-центровой с ЧПУ	630×750	10—2000	25	9
Токарный станок 16К30Ф3 * с ЧПУ повышенной точности	630×1500; 630×3000	8—1600 6,3—1250	22 30	7,4 —
Токарно-винторезный станок 1М63Б	630×2800; 630×4000	10—1250 —	15 —	3,8 4,3
Токарно-винторезный станок 1М63М	630×1400; 630×2000	12,5 1600	18,5 —	4,5 —
Токарный станок 16К50Ф3 с ЧПУ повышенной точности	1000×2000; 1000×2800; 1000×4000; 1000×5000	2,5—500 4—800 — —	45 — — —	11,5 — — —
Токарный патронный станок РТ-751Ф4	1000	40—400	45 55	23
Токарный станок 1А660Ф3 с ЧПУ	1250	1,6—200	55	50,7
Токарный станок 16К60Ф3 с ЧПУ	1250 —	1,6—315 2,5—800	37 55	30
Токарный станок 1К660Ф3 с ЧПУ	1250	1,25—250	55	65
Токарный станок 1А665Ф3 с ЧПУ	1600	1—160	75	63,2
Токарный станок 1К665Ф3 с ЧПУ	160	1—200	75	70
Токарный патронно-центровой гибкий производственный модуль 1720ПФ30 *	125	—	—	—
Токарный гибкий производственный модуль 16К30Ф3РМ * для обработки заготовок в центрах	250	—	—	—

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	d или $d \times l$, мм	Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	Мощность привода N , кВт	Масса станка, т
Токарный станок 1720ПФ30 * с оперативной системой программного управления повышенной точности	400	20—2500; 25—3150	18	5,5
Токарный гибкий производственный модуль КТ-141ПРМ * для обработки заготовок в патроне	200	56—900; 160—2500	15	6
Токарный патронный полуавтомат КТ-141П * с ЧПУ повышенной точности	200	56—900; 160—2500	15	6,0
Токарный патронный полуавтомат 17В05АРФ30 * особо высокой точности с ЧПУ	250	3200	17	37
Токарный полуавтомат 17В05АФ30 * патронно-центровой особо высокой точности с ЧПУ	250×500	4500	11	30
Токарный двухшпиндельный патронный модуль 1732ПФ30РМ *	320	12,5—2000	30	25
Токарный гибкий производственный модуль 1П756ДФ3РМ * для обработки деталей в патроне	320	2000	35	14
Токарный фронтальный патронный двухшпиндельный полуавтомат 1733ПФ30 * с ЧПУ повышенной точности	320	12,5—2000	—	—
Токарный патронно-центровой полуавтомат 1716ПФ3 * с ЧПУ повышенной точности	320	5600 4000 3000	11 15 —	4,5 — —
Токарный патронно-центровой полуавтомат 1716ВФ3 * с ЧПУ высокой точности	320 — —	5600 4000 3000	15 — —	4,5 — —

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	d или $d \times l$, мм	Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	Мощность привода N , кВт	Масса станка, т
Токарный ГП-модуль 751Ф4РМ * для многоцелевой обработки деталей типа тел вращения в патроне	500	—	—	—
Токарный патронный полуавтомат 1П756ДФ3 * с ЧПУ повышенной точности	500	8—1600 10—2000 12—2500	22 30 22	— 9 —
Многоцелевой токарный патронный полуавтомат 1П756Ф4 * с ЧПУ	500	10—2000	22	12,7
Токарный патронный станок 1П756ДФ3 * с ЧПУ высокой точности	500×320	2500	30	10
Токарный гибкий производственный модуль 1725РФ3РМ * для обработки деталей в центрах	400	2500	30	14
Токарно-винторезный станок 16К2ОП повышенной точности	400×710	8,5—2000	11	2,8; 3,1
Токарно-винторезный станок 16К40	800×3000	6,3—1250 8—1600	22 30	7,5 7,8
Токарный патронно-центровой станок 1М63МФ30 с оперативной системой программного управления	630×1500	12,5—1600	18,5	5,7
Токарно-винторезный станок 16Д2П	400	8,5—2000 10,6—2500	11	2,8 3,1
Токарный патронный полуавтомат 1П756ДФ3 с ЧПУ повышенной точности	500 320	8—1600 1—2000 12,5—2500	22—30 22—45 —	10,0 — —
Токарный полуавтомат Б-КТ-141П с ЧПУ повышенной точности	200; 100	56—900 160—2500	15 —	6,5 —
Токарный многолезвийный копировальный полуавтомат Б-1Е713П повышенной точности	200×710; 200×1000; 200×1400	100—2000 125—2500 —	17 25 —	5,5 — —

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	d или d × l, мм	Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	Мощность привода N, кВт	Масса станка, т
Токарно-винторезный станок Б-1720ПФ30 повышенной точности	400 × 750; 400 × 1000	20—2500; 25—3150	18	6
Токарный гибкий производственный модуль 1725РФ3РМ-1* для обработки заготовок в центрах	200 × 1000	—	—	—
Токарный полуавтомат В-1Е713Ф3* с ЧПУ повышенной точности	200 × 710; 200 × 1000; 200 × 1400	—	—	—
Токарный патронно-центровой полуавтомат 1740РФ3* с ЧПУ	400 × 630	16—2000	60	13; 15
Токарный патронно-центровой полуавтомат 1725РФ3* с ЧПУ повышенной точности	250 × 1000; 250 × 1500; 200 × 2000	25—2500; 31,5—3150	30	8,5

Станки сверлильно-расточной и фрезерной групп

Оборудование	Диаметр шпинделя	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощность привода, кВт	Масса станка, т
Горизонтально-расточный станок 2А620Ф2-1 с поворотным столом, планшайбой, радиальным суппортом и ЧПУ	90	1120	1250	10—1600; 6,3—160	15	17,5
Горизонтально-расточный станок 2А620Ф1-1 с предварительным набором координат и цифровой индикацией, стол поворотный, планшайба с радиальным суппортом	90	1120	1250	10—1600; 6,3—160	15	17

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	Диаметр шпинделя	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощность привода, кВт	Масса станка, т
Горизонтальный сверлильно-фрезерно-расточный станок 2А622Ф4-1 с неподвижной передней стойкой, крестовым поворотным столом и ЧПУ, повышенной точности	110	1120	1250	4—1250	20	17,5
Горизонтально-расточный станок 2В623ПМФ-4 с продольно-подвижной стойкой, поперечно-подвижным поворотным столом с ЧПУ, автоматической сменой инструмента (АСИ), повышенной точности	110	1250	1600	8—2000	20	27
Горизонтально-расточный станок 2А622Ф2-1 с неподвижной передней стойкой, поворотным столом, усиленным шпинделем, предварительным набором координат и цифровой индикацией	110	1120	1250	10—1250	15	16,5
Горизонтально-расточный станок 2А636Ф2 с неподвижной стойкой, крестовым столом, планшайбой, выдвижным шпинделем и ЧПУ	125	1600	1800	5—1250	22	33,7
Горизонтально-расточный станок 2П637МФ4 с подвижной передней стойкой и поперечно-перемещаемым поворотным столом, без задней стойки, с АСИ и ЧПУ, повышенной точности	160	1600	2000	2,0—1600	34	36,5

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	Диаметр шпинделя	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощность привода, кВт	Масса станка, т
	мм					
Горизонтально-расточный станок 2А637Ф2 с неподвижной передней стойкой, крестовым поворотным столом и ЧПУ	160	1600	1800	5—1000	22	33,2
Горизонтально-расточный станок ИР2637ПФ4 с неподвижной стойкой, крестовым поворотным столом, ЧПУ, повышенной точности	160	1600	1800	5—1250	26; 30	36,9
Многоцелевой сверлильно-фрезерно-расточный горизонтальный станок ГФ630ПМФ4 с подвижной стойкой, повышенной точности	160	630	630	21,2—3000; 32—5000	15	12
Многоцелевой сверлильно-фрезерно-расточный горизонтальный станок Р2Д650МФ4 с поперечно-подвижной стойкой, выдвижным ползуном и шпинделем	160	4500	4200	4—1000	37; 45	54
Сверлильно-фрезерно-расточный станок 2А630Ф4 с поперечно-подвижной стойкой, стеновой плитой, поворотным столом и ЧПУ	160	4500	4200	4—1000	45	49
Сверлильно-фрезерно-расточный станок 2А651Ф4 с поперечно-подвижной стойкой, выдвижной шпиндельной балкой, усиленным шпинделем и ЧПУ	200	4500	4200	3,2—800	45	50; 75

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	Диаметр шпинделя	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощность привода, кВт	Масса станка, т
	мм					
Многоцелевой сверлильно-фрезерно-расточный горизонтальный станок 2202ВМФ4 * с крестовым поворотным столом, высокой точности	—	250	320	50—3150	5,5	3,8
Многоцелевой сверлильно-фрезерно-расточный горизонтальный станок 2201ПМФ4 с наклонным поворотным столом, повышенной точности	—	250	320	40—4000	5,3; 7,3	2
Сверлильно-фрезерно-расточный гибкий производственный модуль 2ИР2М03П с многоместным накопителем для столов-спутников	—	320	320	40—5000	7,5	9,1
Сверлильно-фрезерно-расточный гибкий производственный модуль ИР2М03П с многоместным накопителем для столов-спутников	—	320	320	13—5000	7,5	10,1
Многоцелевой сверлильно-фрезерно-расточный станок с подвижной стойкой АСИ, ЧПУ, повышенной точности	—	320	320	13—5000	7,5	8
Многоцелевой сверлильно-фрезерно-расточный горизонтальный станок с подвижной стойкой, ЧПУ, автоматической сменой инструмента	—	320	320	40—5000	7,5	7
Многоцелевой сверлильно-фрезерно-расточный станок с АСИ, ЧПУ, повышенной точности	—	400	500	13—5000	7,5	9,1

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	Диаметр шпин- деля	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощ- ность привода, кВт	Масса станка, т
	мм					
Многоцелевой сверлиль- но-фрезерно-расточный горизонтальный станок 2204ВМФ4 высокой точ- ности	—	400	500	40—2500; 3200	8; 11	8
Многоцелевой сверлиль- но-фрезерно-расточный горизонтальный станок 21004П7Ф4	—	400	400	30—3000	8,5	9,8
Многоцелевой сверлиль- но-фрезерно-расточный станок с двумя столами, сменой многошпиндель- ных головок, повышен- ной точности	—	400	1000	50—3150	6,5	9,7
Многоцелевой сверлиль- но-фрезерно-расточный горизонтальный станок 2204АМ1Ф4 с крестовым поворотным столом, ЧПУ, АСИ и автоматической сменой заготовок (АСЗ), особо высокой точности	—	400	500	40—2500; 3200	8	8
Сверлильно-фрезерно- расточный гибкий произ- водственный модуль 21004Н7Ф4М для обра- ботки корпусных деталей	—	400	400	30—3000	10,5	13
Гибкий производствен- ный модуль ОП2М05А для обработки корпусных де- талей, особо высокой точ- ности	—	500		40—5000	10	10
Сверлильно-фрезерно- расточный гибкий произ- водственный модуль ИР500ПМ1Ф4 для обра- ботки корпусных деталей с многоместным накопи- телем для столов-спутни- ков	—	500	500	21,2—3000	15	14,5

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	Диаметр шпин- деля	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощ- ность привода, кВт	Масса станка, т
	мм					
Сверлильно-фрезерно- расточный гибкий произ- водственный модуль ИР500ПМ1Ф4 для обра- ботки корпусных деталей с многоместным накопи- телем для столов-спутни- ков	—	500	500	21,2—3000	18; 21,2	19,2
Многоцелевой сверлиль- но-фрезерно-расточный горизонтальный станок ИР500ПМФ4 повышен- ной точности с подвиж- ной стойкой	—	500	500	21,2—3000	14; 18; 22	12,8
Многоцелевой сверлиль- но-фрезерно-расточный горизонтальный станоч- ный модуль В-ИР500ПМФ4 с подвиж- ной стойкой	—	500	500	32—5000	15	11,25
Сверлильно-фрезерно- расточный гибкий произ- водственный модуль ВП2М06А для обработки корпусных деталей особо высокой точности	—	630	800	20—3500	15	15,6
Многоцелевой сверлиль- но-фрезерно-расточный горизонтальный станок 2206ВМФ4 высокой точ- ности	—	630	800	31,5—2500	12; 14	9,5
Многоцелевой сверлиль- но-фрезерно-расточный горизонтальный станок 22К06ПМ2Ф4 с двумя сто- лами и сменой многошпин- дельных головок, повы- шенной точности	—	630	1600	45—2500	12	—

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	Диаметр шпин- деля	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощ- ность привода, кВт	Масса станка, т
	мм					
Многоцелевой сверлиль- но-фрезерно-расточный горизонтальный станок ИР500ПМФ4 с подвиж- ной стойкой, повышенной точности	—	500	500	21,2—3000	14; 18; 22	12,8
Многоцелевой сверлиль- но-фрезерно-расточный горизонтальный станок- модуль В-ИР500ПМФ4 с подвижной стойкой	—	500	500	32—5000	15	11,25
Сверлильно-фрезерно- расточный гибкий произ- водственный модуль ВШ2М06А для обработки корпусных деталей, особо высокой точности	—	630	800	20—3500	15	15,6
Многоцелевой сверлиль- но-фрезерно-расточный горизонтальный станок 2206ВМФ4 высокой точ- ности	—	630	800	31,5—2500	12; 14	9,5
Многоцелевой сверлиль- но-фрезерно-расточный горизонтальный станок 22К06ПМ2Ф4 с двумя сто- лами и сменой многошпин- дельных головок, повы- шенной точности	—	630	1600	45—2500	12	
Многоцелевой сверлиль- но-фрезерно-расточный горизонтальный станок 2206АМ1Ф4 с крестовым поворотным столом, особо высокой точности	—	630	800	31,5—2500	12	8,5
Гибкий производствен- ный модуль ВШ2М08А для обработки корпусных деталей, особо высокой точности	—	800	800	31,5—2500	15	15

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	Диаметр шпин- деля	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощ- ность привода, кВт	Масса станка, т
	мм					
Сверлильно-фрезерно- расточный гибкий произ- водственный модуль ИР800ПМ1Ф4 для обра- ботки корпусных деталей с многоместным накопи- телем для столов-спутни- ков, повышенной точности	—	800	800	21,2—3000	15	16,6
Сверлильно-фрезерно- расточный гибкий произ- водственный модуль МА2765МЗФ4М для обра- ботки корпусных деталей	—	800	—	10 000	20	—
Многоцелевой сверлиль- но-фрезерно-расточный горизонтальный станок ИР800ПМФ4 повышен- ной точности с подвижной стойкой	—	800	800	21,2—3000; 20—4000	15	12,5
Сверлильно-фрезерно- расточный гибкий произ- водственный модуль ИР22912МФИ14 для обра- ботки корпусных деталей	—	1250	—	12,5—3150	25	41,3
Многоцелевой сверлиль- но-фрезерно-расточный горизонтальный станок 22912Н7Ф4 с подвижной стойкой, автоматической сменой инструмента и за- готовок	125	1250	—	12,5—3150	25	31
Многоцелевой сверлиль- но-фрезерно-расточный горизонтальный станок 26912П7Ф4 с подвижным шпинделем, с АСИ и АСЗ, повышенной точности	110	1250	—	12,5—2500	32	25

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	Диаметр шпинделя	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощность привода, кВт	Масса станка, т
Сверлильно-фрезерно-расточный гибкий производственный модуль В-1600МФ4 для обработки корпусных деталей	—	1600	—	5—2000	28	113
Многоцелевой сверлильно-фрезерно-расточный горизонтальный станок ИР1600МФ4 с подвижной стойкой и сменой навесных многошпиндельных универсальных головок	—	1600	—	5—2000	28	85
Сверлильно-фрезерно-расточный модуль для обработки корпусных деталей	—	2000	—	6,3—1600	29; 37	50
Многоцелевой сверлильно-фрезерно-расточный станок	—	2000	—	10—2500	29	50
Многоцелевой сверлильно-фрезерно-расточный вертикальный станок 22548МФ4 с крестовым столом, высокой точности	—	400	630	40—2500; 3200	8; 11	8
Многоцелевой сверлильно-фрезерно-расточный вертикальный станок 21104П7Ф4 с крестовым столом, ЧПУ, АСИ, АСЗ, повышенной точности	—	400	630	30—3000	8,5	8
Многоцелевой сверлильно-фрезерно-расточный вертикальный станок 21105П7Ф4 с крестовым столом, ЧПУ, АСИ, АСЗ, повышенной точности	—	500	800	25—2500	13	10,2

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	Диаметр шпинделя	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощность привода, кВт	Масса станка, т
Многоцелевой сверлильно-фрезерно-расточный вертикальный станок 22568НФ4 высокой точности	—	630	1000	32—2000; 3200	12; 14	12
Сверлильно-фрезерно-расточный вертикальный станок 2560ПМФ4 с подвижным порталом, ЧПУ, АСИ, повышенной точности	—	1600	4000	16—3000	7,5; 11; 15	22
Сверлильно-фрезерно-расточный вертикальный станок 2570ПМФ4 с подвижным порталом, ЧПУ, АСИ, повышенной точности	—	2000	4000	15—3000	7,5; 11; 15	30
Горизонтально-расточный станок 2Н636Ф1 с поворотным столом и планшайбой с радиальным суппортом, предварительным набором координат и цифровой индикацией	125	1600	1800	8; 1250	22	33,5
Горизонтально-расточный станок 6Н638Ф1 с неподвижной передней стойкой, крестовым поворотным столом, усиленным выдвижным шпинделем, предварительным набором координат, цифровой индикацией	160	1600	1800	3,2—1000	22	30,8
Координатно-расточный одностоечный станок 2421СФ12 с устройством цифровой индикации, предварительным набором координат, особо точный	—	230	360	150—3000	0,75	0,95

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	Диаметр шпин- деля	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощ- ность привода, кВт	Масса станка, т
	мм					
Координатный сверлиль- но-фрезерно-расточный станок 24К30СФ4 * с про- дуктивной системой про- граммного управления, особо точный	—	320	500	6,3—3150	3	3
Координатно-расточный одностоечный станок 2431СФ0 с устройством цифровой индикации, предварительным набором координат, особо точ- ный	—	320	360	10—3000	1,9	2,5
Координатный сверлиль- но-фрезерно-расточный одностоечный станок 24К30СФ1 * с предвари- тельным набором коорди- нат и цифровой индика- цией, особо точный	—	320	500	6,3—3150	3	3
Координатно-сверлиль- но-фрезерно-расточный одностоечный станок 24К40СФ4 * с ЧПУ осо- бо точный	—	400	800	6,3—3150	4,2	4,6
Многоцелевой координат- ный сверлильно-фрезер- но-расточный одностоеч- ный станок 2Е430АМФ4, особо высокой точности	—	630	1120	10—2000	7,2	8,25
Многоцелевой координат- ный, сверлильно-фре- зерно-расточный одно- стоечный станок 24К50АМФ4 *, особо вы- сокой точности	—	630	800	6,3—4000	7,2	10,5

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	Диаметр шпин- деля	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощ- ность привода, кВт	Масса станка, т
	мм					
Координатный сверлиль- но-фрезерно-расточный двухстоечный станок 24К55СФ4 с ЧПУ, особо точный	—	630	1000	6,3—3150	8	7,7
Координатно-расточный одностоечный станок 2Е450АФ1 с предвари- тельным набором коорди- нат и цифровой индика- цией, особо высокой точ- ности	—	630	1120	10—2000; 10—3000	7,2	8
Координатный сверлиль- но-фрезерно-расточный одностоечный станок 24К50АФ1 * с предвари- тельным набором коорди- нат и цифровой индика- цией, особо высокой точ- ности	—	630	1000	6,3—3150	6	8
Координатный сверлиль- но-фрезерно-расточный двухстоечный станок 24К56СФ4 * с ЧПУ, осо- бо точный	—	800	1250	6,3—3150	8	10
Координатный сверлиль- но-фрезерно-расточный двухстоечный станок 24К60АФ4 * с ЧПУ, осо- бо высокой точности	—	1000	1600	6,3—3150	10	22
Координатный сверлиль- но-фрезерно-расточный двухстоечный станок 24К70АФ4 * с ЧПУ, осо- бо высокой точности	—	1600	2500	63—3150	10	40
Координатный сверлиль- но-фрезерно-расточный двухстоечный станок 24К80АФ4 * с ЧПУ, осо- бо высокой точности	—	2000	3000	6,3—2000	14	60

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	Диаметр шпинделя	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощность привода, кВт	Масса станка, т
	мм					
Многоцелевой координатный сверлильно-фрезерно-расточный горизонтальный станок 2А459АМФ4 * с ЧПУ и АСИ, особо высокой точности	—	1000	1000	50—2500	7,5	14,6
Отделочно-расточный горизонтальный двусторонний полуавтомат 2742В * с подвижным вертикальным столом, высокой точности	—	400	400	100—1000	12	3,4
Отделочно-расточный горизонтальный двусторонний полуавтомат 2762В * с подвижным вертикальным столом, высокой точности	—	400	630	10 000	5,5	4,5
Многоцелевой координатный сверлильно-фрезерно-расточный горизонтальный станок 24К68АМФ4 * особо высокой точности	—	1000	1000	6,3—3150	8	14,6
Отделочно-расточный горизонтальный двусторонний полуавтомат 2754В * с подвижным столом, высокой точности	—	500	530	10 000	15	3,4
Отделочно-расточный горизонтальный двусторонний полуавтомат 2752С с подвижным столом, особо высокой точности	—	500; 400; 320	—	8000	12	3
Отделочно-расточный горизонтальный двусторонний полуавтомат 2754С * особой точности с подвижным столом	—	500	630	8000	12	3,4

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	Диаметр шпинделя	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощность привода, кВт	Масса станка, т
	мм					
Отделочно-расточный горизонтальный односторонний полуавтомат 2755В * для патронных работ, высокой точности	—	560	630	10 000	12	3,4
Отделочно-расточный горизонтально-двусторонний полуавтомат 2752В * с подвижным столом, высокой точности	—	500	400	6000; 10 000	12	2,7
Отделочно-расточный вертикальный полуавтомат 2776В * с подвижными головками, высокой точности	—	630	400	4000	12	9
Отделочно-расточный вертикальный полуавтомат 2777В *, высокой точности с подвижными головками	—	800	630	10 000	12	13
Отделочно-расточный горизонтальный двусторонний полуавтомат 2782В * с подвижным столом, высокой точности	—	800	630	10 000	15	5,2
Отделочно-расточный горизонтальный двусторонний полуавтомат 2784В * с подвижным столом, высокой точности	—	800	10 000	1150—1000	12	5,9
Отделочно-расточный вертикальный полуавтомат 2779В * с подвижными головками, высокой точности	—	1250	400	10 000	10; 12	11

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	Диаметр шпин- деля	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощ- ность привода, кВт	Масса станка, т
	мм					
Отделочно-расточный го- ризоньальный полу- автомат (00-2917) для обработки профиля юбки с канавками под поршне- вые кольца одношпин- дельный, повышенной точности	—	320	500	1500	2,2	3,5
Отделочно-обточной го- ризоньальный полу- автомат (00-4847) для обработки профиля юбки с канавками под поршне- вые кольца, повышенной точности, многошпин- дельный	—	320	500	1500	2,3; 3,9	4
Отделочно-расточный по- луавтомат ОС-5936 для растачивания вклады- шей постоянной толщины, повышенной точности	200	—	—	3500	2,3—3,9	6
Отделочно-обточной го- ризоньальный полу- автомат ОС-6602 для тонкого обтачивания поршней и подрезания кан- навок, особо высокой точ- ности	120	—	—	1000	10	6,5
Отделочно-расточный многошпиндельный вер- тикальный полуавтомат ОС-5814 для растачива- ния отверстий под гиль- зы с одновременным под- резанием торца выточки в блоке цилиндров	80— 150	—	—	3500	4	7,5
Отделочно-расточный и обточной горизонталь- ный полуавтомат Т-1 для обработки конусных по- верхностей краевой ар- матуры, повышенной точ- ности	—	360	500	3200	1,5—5,5	3,9

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	Диаметр шпин- деля	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощ- ность привода, кВт	Масса станка, т
	мм					
Отделочно-расточный го- ризоньальный полу- автомат ОС-5523 для обработки гиперболиче- ских поверхностей, повы- шенной точности	200	—	—	1500	2,2; 4	35
Отделочно-расточный го- ризоньальный полу- автомат Б-2712В с под- вижным столом, высокой точности	500	—	—	8000	4,5—7,5	—
Отделочно-расточный вер- тикальный станок Б-2777В с подвижными головками, высокой точ- ности	800	—	—	8000	4,5—12	—
Отделочно-расточный двусторонний полу- автомат ОС-5298 высокой точности для растачива- ния двух отверстий под подшипники качения с одновременной подрез- кой буртов в деталях типа стакана	30— 180	—	—	1500— 15 000	—	4,5
Многоцелевой фрезерно- сверлильно-расточный го- ризоньальный консоль- ный полуавтомат 6Д82ГМФ3	—	320	1 250	20—2000	5,5	3,5
Горизонтально-фрезер- ный консольный полу- автомат 6Д82ШФ20 с вер- тикальным поворотным шпинделем, оперативной системой ЧПУ (широко- универсальный), повы- шенной точности	—	320	1 250	Горизон- тального шпинделя 20—2000; вертикаль- ного шпинделя 45—2000	5,5; 2,2	3,5

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	Диаметр шпинделя	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощность привода, кВт	Масса станка, т
	мм					
Горизонтально-фрезерный консольный полуавтомат 6Т82ГФ20 с оперативной системой ЧПУ	—	320	1250	16—1600	7,5	3,1
Горизонтально-фрезерный консольный полуавтомат 6Д82ГФ20 с оперативной ЧПУ	—	320	1250	20—2000	5,5	2,93
Горизонтально-фрезерный консольный полуавтомат 6Т82Г	—	320	1250	50—1600	7,5	—
Горизонтально-фрезерный консольный полуавтомат 6Т82Ш с вертикальным поворотным шпинделем, повышенной точности	—	320	1250	Горизонтального шпинделя 16—1600; вертикального шпинделя 50—1600;	7,5	—
Горизонтально-фрезерный консольный станок 6Г82Г-1	—	320	1250	31,5—1600	7,5	3,1
Горизонтально-фрезерный консольный станок 6Д82Ш с вертикальным поворотным шпинделем (широкоуниверсальный), повышенной точности	—	320	1250	Вертикального шпинделя 45—2000; горизонтального шпинделя 20—2000	5,5; 2,2	3,2
Горизонтально-фрезерный консольный станок 6Д82Г	—	320	1250	20—2000	5,5	2,93

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	Диаметр шпинделя	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощность привода, кВт	Масса станка, т
	мм					
Горизонтально-фрезерный консольный полуавтомат 6Т83ГФ20 с оперативной системой ЧПУ	—	400	1600	16—1600	11	3,8
Горизонтально-фрезерный консольный полуавтомат 6Т83Г	—	400	1600	50—1600	11	—
Горизонтально-фрезерный консольный полуавтомат 6Т83Ш с вертикальным поворотным шпинделем, повышенной точности	—	400	1600	Горизонтального шпинделя 16—1600; вертикального шпинделя 50—1600	11	—
Горизонтально-фрезерный консольный станок 6Т83Г-1	—	400	1600	31,5—1600	10	4
Горизонтально-фрезерный консольный станок 6Т83Ш-1 широкоуниверсальный с вертикальным поворотным шпинделем, повышенной точности	—	400	1600	Горизонтального шпинделя 31,5—1600; вертикального шпинделя 50—1600	11	4,6
Горизонтально-фрезерный консольный универсальный полуавтомат 6Т82 с поворотным столом	—	320	1250	16—1600	7,5	—
Горизонтально-фрезерный консольный универсальный станок 6Т82-1 с поворотным столом	—	320	1250	16—1600	7,5	3,2
Горизонтально-фрезерный консольный универсальный станок 6Д82 с поворотным столом	—	320	1250	20—2000	5,5	3

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	Диаметр шпинделя	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощность привода, кВт	Масса станка, т
	мм					
Горизонтально-фрезерный консольный универсальный полуавтомат 6Т83 с поворотным столом	—	400	1600	16—1600	11	—
Горизонтально-фрезерный консольный универсальный станок 6Т83-1 с поворотным столом	—	400	1600	31,5—1600	10	3,8
Многоцелевой фрезерно-сверлильно-расточный вертикальный консольный полуавтомат 6Д12МФЗ	—	320	1250	20—2000	8	3,3
Вертикально-фрезерный консольный полуавтомат 6Д12Ф20 с оперативной системой ЧПУ	—	320	1250	20—2000	7,5	3,6
Вертикально-фрезерный консольный полуавтомат 6Т12К-1 с копировальным устройством	—	320	1250	40—2000	7,5	3,8
Вертикально-фрезерный консольный полуавтомат 6Т12	—	320	1250	16—1600	7,5	—
Вертикально-фрезерный консольный полуавтомат 6Т12К с копировальным устройством	—	320	1250	20—2000	7,5	—
Вертикально-фрезерный консольный станок 6Т12-1	—	320	1250	31,5—1600	7,5	3,4
Вертикально-фрезерный консольный станок 6Д12	—	320	1250	20—2000	5,5	3,1

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	Диаметр шпинделя	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощность привода, кВт	Масса станка, т
	мм					
Многоцелевой вертикально-фрезерный консольный полуавтомат 6Т13МФ4-1	—	400	1600	40—2000	7,5	6,5
Многоцелевой фрезерно-расточный вертикальный консольный полуавтомат 6Т13МФ4	—	400	1600	20—2000	7,5	6
Вертикально-фрезерный консольный полуавтомат 6Т13Ф3-1 с ЧПУ	—	400	1600	40—2000	7,5	6
Вертикально-фрезерный консольный полуавтомат 6Т13Ф20 с оперативной системой ЧПУ	—	400	1600	20—2000	11	4,5
Вертикально-фрезерный консольный полуавтомат 6Т13Ф3 с ЧПУ	—	400	1600	20—2000	7,5	—
Вертикально-фрезерный консольный полуавтомат 6Т13	—	400	1600	16—1600	11	—
Вертикально-фрезерный консольный станок 6Т13-1	—	400	1600	31,5—1600	10	4,4
Продольно-фрезерный двухстоечный станок 6Г605	—	500	—	20—2000	15	13,95
Продольно-фрезерный двухстоечный станок 6Г606	—	630	—	20—2000	15	21,9
Многоцелевой сверлильно-фрезерно-расточный двухстоечный полуавтомат 6М612МФ4 с продольным столом и неподвижной поперечиной	—	1250	—	10—1600	30; 37	63

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	Диаметр шпинделя	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощность привода, кВт	Масса станка, т
	мм					
Многоцелевой сверлильно-фрезерно-расточный широкоуниверсальный полуавтомат 67К25ПМФ4 повышенной точности	—	250	630	40—2000	2,2	1,8
Фрезерный широкоуниверсальный инструментальный полуавтомат 67К25ПФ2-0 повышенной точности с оперативной системой ЧПУ	—	250	630	40—2000	3	1,5
Фрезерный широкоуниверсальный инструментальный полуавтомат 67К25ПФ3 повышенной точности с контурной системой ЧПУ	—	250	630	40—2000	3	1,5
Фрезерный широкоуниверсальный инструментальный полуавтомат 67К25ВФ3 высокой точности с ЧПУ	—	250	630	40—2000	3	1,5
Фрезерный широкоуниверсальный инструментальный полуавтомат 67К25ВФ1 высокой точности с предварительным набором координат и цифровой индикацией	—	250	630	40—2000	3	1,35
Фрезерный широкоуниверсальный инструментальный полуавтомат 67К25ПФ1 повышенной точности с цифровой индикацией и предварительным набором координат	—	250	630	40—2000	3	1,35
Фрезерный широкоуниверсальный инструментальный станок 67К25В высокой точности	—	250	630	40—2000	2,2	—

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	Диаметр шпинделя	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощность привода, кВт	Масса станка, т
	мм					
Многоцелевой фрезерно-сверлильно-расточный горизонтальный инструментальный полуавтомат 6Б76ПМФ2 повышенной точности	—	320	400	50—3150	5,3	1,7
Многоцелевой фрезерно-сверлильно-расточный горизонтальный полуавтомат 6Б76ПМФ4 повышенной точности	—	320	400	40—3200	5,3	1,7
Многоцелевой фрезерно-сверлильно-расточный полуавтомат 67К32ВМФ4, инструментальный, высокой точности	—	320	800	40—4000	4	1,5
Фрезерный широкоуниверсальный инструментальный полуавтомат 67К32ВФ3 с ЧПУ, высокой точности	—	320	800	40—4000	5	1,9
Фрезерный широкоуниверсальный инструментальный полуавтомат 67К32ВФ20 высокой точности с оперативной системой ЧПУ	—	320	800	40—4000	4	1,5
Фрезерный широкоуниверсальный инструментальный полуавтомат 6732ВФ1 высокой точности с цифровой индикацией и предварительным набором	—	320	800	40—4000	4	1,5
Фрезерный широкоуниверсальный инструментальный полуавтомат 6740ВФ20 высокой точности с оперативной системой ЧПУ	—	Ширина стола основного вертикального 400	—	40—2000	5,5	3,9

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	Диаметр шпинделя	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощность привода, кВт	Масса станка, т
	мм					
Фрезерный широкоуниверсальный инструментальный полуавтомат 6740ВФ30 высокой точности с оперативной системой ЧПУ	—	400	—	40—2000	5,5	4
Многоцелевой фрезерно-сверлильно-расточный вертикальный полуавтомат 65А60МФ4 с крестовым столом	—	630	1000	5—2000	15; 20	15,5
Вертикально-фрезерный полуавтомат 65А60Ф4 с крестовым столом и ЧПУ	—	630	1000	5—2000	20	12,4
Вертикально-фрезерный полуавтомат 65А60Ф1 с крестовым столом, пред-набором координат и цифровой индикацией	—	630	1000	5—2000	20	13,8
Многоцелевой фрезерно-сверлильно-расточный вертикальный полуавтомат 65А80ПМФ4 с крестовым столом, повышенной точности	—	600	1250	5—2000	15; 20	17,4
Вертикально-фрезерный полуавтомат 65А80Ф4 с крестовым столом и ЧПУ	—	800	1250	5—2000	20	17,4
Вертикально-фрезерный полуавтомат 65А90Ф1 с крестовым столом, предварительным набором координат и цифровой индикацией	—	1000	1600	5—2000	20	21,6
Продольно-фрезерно-расточный двухстоечный полуавтомат 6605Ф1 с цифровой индикацией	—	500	—	25—1250; 31,5—1600	11; 15	15,5

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	Диаметр шпинделя	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощность привода, кВт	Масса станка, т
	мм					
Многоцелевой сверлильно-фрезерно-расточный двухстоечный полуавтомат 66К06МФ4 с продольным столом, неподвижной поперечной, повышенной точности	—	630	—	20—2000	10	17
Продольно-фрезерно-расточный полуавтомат 6606Ф1 с цифровой индикацией	—	630	—	25—1250; 31,5—1600	15; 11	25
Продольно-фрезерно-расточный двухстоечный трехшпиндельный полуавтомат 6Г608Ф1 с предварительным набором координат и цифровой индикацией	—	800	—	20—1000	18,5	31,5
Фрезерно-расточный продольный двухстоечный полуавтомат 6М610МФ4 с неподвижной поперечной, ЧПУ и инструментальным магазином	—	1000	—	10—1600	30	46
Многоцелевой фрезерно-расточный двухстоечный полуавтомат 6М610МФ4-20 с продольным столом и неподвижной поперечной	—	1000	—	10—1600	30; 37; 45	44
Фрезерно-расточный двухстоечный полуавтомат 6М610Ф4 с продольным столом, неподвижной поперечной и ЧПУ	—	1000	—	10—1600	30; 37; 45	—
Фрезерно-расточный двухстоечный полуавтомат с продольным столом, подвижной поперечной и ЧПУ	—	1000	—	20—2000	18,5	36

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	Диаметр шпин- деля	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощ- ность привода, кВт	Масса станка, т
	мм					
Продольно-фрезерно-рас- точный двухстоечный трехшпиндельный полу- автомат 6Г610Ф1 с пред- варительным набором ко- ординат и цифровой инди- кацией	—	1000	—	20—1000	18,5	15,6
Фрезерно-расточный двухстоечный полу- автомат 6М610Ф11 с про- дольным столом, непод- вижной поперечной, предварительным набо- ром и цифровой индика- цией	—	1000	—	10—1600	30; 37; 45	39
Фрезерно-расточный двухстоечный полу- автомат 6М612Ф4 с про- дольным столом, непод- вижной поперечной и ЧПУ	—	1250	—	10—1600	30; 37; 45	45,7
Фрезерно-расточный двухстоечный полу- автомат 6М612Ф11 с продольным столом, не- подвижной поперечной, предварительным набо- ром координат и цифро- вой индикацией	—	1250	—	10—1600	30; 37; 45	45,8
Многоцелевой фрезерно- расточный двухстоечный полуавтомат 6М616МФ4 с продольным столом и не- подвижной поперечной	—	1600	—	10—1600	30; 37; 45	70
Фрезерно-расточный двухстоечный полу- автомат 6М616МФ4 с продольным столом, не- подвижной поперечной и ЧПУ	—	1600	—	10—1600	30; 37; 45	61,7

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	Диаметр шпин- деля	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощ- ность привода, кВт	Масса станка, т
	мм					
Фрезерно-расточный двухстоечный полу- автомат 6М616Ф11 с продольным столом, не- подвижной поперечной, предварительным набо- ром координат и цифро- вой индикацией	—	1600	—	10—1600	30; 37; 45	61,8
Фрезерно-расточный полуавтомат с продоль- ным столом, подвижной поперечной и ЧПУ	—	2000	—	10—630	55; 75	125
Фрезерно-расточный двухстоечный полу- автомат 66К20Ф11 с продольным столом, под- вижной поперечной, предварительным набо- ром координат и цифро- вой индикацией	—	2000	—	10—630	55; 75	125
Многоцелевой сверлиль- но-фрезерно-расточный двухстоечный полу- автомат 66К25МФ4 с продольным столом и подвижной поперечной	—	2500	—	10—2000	30	116
Фрезерно-расточный двухстоечный полу- автомат 66К25МФ4 с про- дольным столом, подвиж- ной поперечной и ЧПУ	—	2500	—	10—630	55; 75	116
Фрезерно-расточный двухстоечный полу- автомат 66К25Ф1 с про- дольным столом, подвиж- ной поперечной, предва- рительным набором коор- динат и цифровой инди- кацией	—	2500	—	10—630	55; 75	130

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	Диаметр шпинделя	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощность привода, кВт	Масса станка, т
	мм					
Вертикально-фрезерный консольный станок Б-6Т13-1-Б повышенной точности	—	400	1600	200—5000	22	—
Продольный фрезерно-расточный станок Б-66К25МФ4	—	2500	—	160—3150	45	—
Продольный фрезерно-расточный станок Б-66К06Ф4	—	630	—	200—4000	30	—
Фрезерно-расточный двухстоечный станок Б-6М610Ф1 с продольным столом	—	1000	—	200—4000	45	—
Вертикально-фрезерный станок Б-65А60Ф1 с крестовым столом	—	630	—	400—5000	45	—
Карусельно-фрезерный полуавтомат Б-6210 для обработки плоскостей корпусных деталей из чугуна и цветных сплавов	—	Диаметр рабочей поверхности стола 1000	—	Чернового шпинделя 800—2500; чистового шпинделя 1600—5000	30; 11	7
Барабанно-фрезерный станок Б-ГФ108С для обработки валов и корпусных деталей средних размеров из чугунов, сталей и цветных сплавов	—	Диаметр вала барабана 200	—	630—5000	22	—
Карусельно-фрезерный полуавтомат Б-УФ-99 для обработки плоскостей корпусных деталей из чугунов и цветных сплавов	—	Диаметр рабочей поверхности стола 2000	—	Чернового шпинделя 315—1000, чистового шпинделя 630—2000	55; 151	—

Продолжение табл. 6.7

Оборудование	Диаметр шпинделя	Ширина стола	Длина стола	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощность привода, кВт	Масса станка, т
	мм					
Карусельно-фрезерный полуавтомат Б-6М23С13 для обработки плоскостей корпусных деталей из чугуна и цветных сплавов	—	1600	—	Чернового шпинделя 800—2500; чистового шпинделя 1600—5000	30 11	7 —
Продольный фрезерно-шлифовальный станок Б-МС510Ф1 для обработки направляющих базовых поверхностей станков, повышенной точности	—	1000	3150	5000—25 000	15	—

* Станки, подлежащие комплектации инструментом из СТМ или керамики при поставке потребителю.

Обозначения: d — максимальный диаметр прутка, l — длина прутка.

**7. МЕТОДИКА РАСЧЕТА
ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА
ОТ ВНЕДРЕНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ,
ОСНАЩЕННЫХ СТМ И КЕРАМИКОЙ**

Технико-экономическая эффективность от внедрения инструмента, оснащенного режущими элементами из СТМ и керамики, достигается за счет следующих факторов:

- 1) повышения скоростей резания, т. е. снижения машинного времени обработки;
- 2) повышения стойкости инструмента, снижения простоев оборудования;
- 3) концентрации операций (исключение последующего шлифования или хонингования) и высвобождения рабочих-станочников, оборудования и производственных площадей;
- 4) экономии дефицитных вольфрамо- и танталосодержащих твердых сплавов;
- 5) улучшения качества обработанных поверхностей, повышения надежности и долговечности изделий.

Все указанное выше приводит к тому, что инструмент из СТМ и керамики не просто заменяет резцы, фрезы из твердого сплава или абразивные инструменты, но требует существенного изменения технологического процесса обработки заготовок.

В производственной практике, как правило, экономический эффект рассчитывают только по пп. 1 и 2, т. е. вследствие снижения себестоимости обработки единицы продукции благодаря повышению производительности обработки и (или) повышения стойкости инструмента и соответствующему снижению затрат на его обслуживание.

Факторы 3—5-й в ряде случаев существенно повышают экономический эффект, но в производственной практике их учет более затруднителен и в данной методике не рассматривается.

Экономический эффект в производственной практике удобно определять в соответствии с предложенным ниже алгоритмом с заполнением таблиц, рассчитанных по формулам (7.1)—(7.5).

Значения и наименования показателей, входящих в формулы (7.1)—(7.5), даны в табл. 7.1.

Алгоритм расчета экономической эффективности вследствие снижения себестоимости изготовления изделия с применением инструмента, оснащенного режущими элементами из композита и (или) керамики, состоит из нескольких этапов.

Методика расчета экономического эффекта от внедрения инструментов

7.1. Показатели расчета экономической эффективности от внедрения нового технологического процесса с применением инструмента из керамики или композита (примеры расчета по методике)

№ по пор.	Наименование показателя	Обозначение	№ формулы, по которой определяют данный показатель	№ примера расчета (см. табл. 7.2)			
				1	2	3	4
1	Оптовая цена (или стоимость инструмента, если он изготовляется непосредственно на данном предприятии) за один комплект *, руб.	$C_{ин1}$	—	0,6	16,5	167,0	1,8
		$C_{ин2}$	—	118,6	120	3366,4	124,2
2	Стоимость станкомннутой ставки для повторной заточки (или правки) инструмента *, руб.	$S_{см.пер1}$	—	—	0,032	—	0,035
		$S_{см.пер2}$	—	0,09	0,015	—	—
3	Тарифная ставка рабочего (за 1 мин), занятого переборкой инструмента с механическим креплением пластин вне станка *, руб.	$\eta_{1,2}$	—	—	—	0,012	$\eta_2 = 0,012$
4	Время на одну повторную заточку (правку) или переворот пластины *, мин	$\tau_{пер1}$	—	—	0,31	15	6
		$\tau_{пер2}$	—	1	1	30	12
5	Стоимость одной повторной заточки (или правки) инструмента, руб.	$S_{пер1}$	7.10 7.12	0,074	0,01	0,18	0,21
		$S_{пер2}$	7.11 7.13	0,09	0,15	0,36	0,014
6	Число повторных заточек (или правок шлифовального круга) инструмента	$k_{пер1}$	—	4	150	54	7
		$k_{пер2}$	—	83	120	72	88
7	Приведенная стоимость работы станка, т. е. станкомннутого оборудования при обработке по технологичн *, руб.	$S_{см1}$	—	0,09	0,032	0,037	0,035
		$S_{см2}$	—	0,09	0,025	0,037	0,035

Продолжение табл. 7.1

№ по пор.	Наименование показателя	Обозначение	№ формулы, по которой определяют данный показатель	№ примера расчета (см. табл. 7.2)			
				1	2	3	4
8	Время на одну переустановку инструмента на станке *, мин	$\tau_{уст1}$	—	4	—	5	4
		$\tau_{уст2}$	—	4	4	5	4
9	Затраты на замену изношенной державки на станке инструмента, руб.	$S_{уст1}$	7.14	0,36	—	0,185	0,14
		$S_{уст2}$	7.15	0,36	0,1	0,185	0,14
10	Число периодов стойкости, т. е. число переустановок единицы инструмента до его полного изнашивания *	$k_{уст1}$	—	5	1	54	8
		$k_{уст2}$	—	1	1	72	88
11	Число заготовок, обрабатываемых за один период стойкости инструмента *, шт.	b_1	—	0,33	6	150	31
		b_2	—	2,36	13	1154	100
12	Число заготовок, обрабатываемых инструментом до его полного изнашивания, шт.	b_1	7.8	1,65	900	8100	248
		b_2	7.9	198	1560	83 088	8800
13	Затраты на приобретение (или изготовление) и эксплуатацию инструмента, приходящиеся на одну деталь, по технологии, руб.	$S_{ин1}$	7.4	1,63	0,02	0,023	0,0177
		$S_{ин2}$	7.5	0,63	0,09	0,041	0,0157
14	Основное технологическое время обработки одной заготовки по технологии *, мин	$t_{осн1}$	—	81,6	16	1,48	5
		$t_{осн2}$	—	10,6	4,5	0,23	0,67

Продолжение табл. 7.1

№ по пор.	Наименование показателя	Обозначение	№ формулы, по которой определяют данный показатель	№ примера расчета (см. табл. 7.2)			
				1	2	3	4
15	Затраты (за 1 мин), связанные с эксплуатацией оборудования, на котором установлен инструмент, руб.	$S_{об1}$	7.6	7,34	0,51	0,55	0,175
		$S_{об2}$	7.7	0,95	0,11	0,0085	0,023
16	Изменяющиеся части затрат себестоимости обработки единицы продукции по технологии, руб.	C_1	7.2	8,97	0,53	0,078	0,193
		C_2	7.3	1,58	0,20	0,0495	0,0387
17	Нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений *	E_H	—	0,15	0,15	0,15	0,15
18	Дополнительные капитальные затраты, производимые при внедрении новой технологии *, руб.	K_D	—	14 216	—	40 000	300 000
19	Годовой объем выпуска деталей, обрабатываемых по новой технологии *, шт.	B_2	—	5000	92 400	250 000	4 420 000
20	Экономическая эффективность от внедрения нового технологического процесса с применением инструмента из керамики или композита взамен базового, руб.	\mathcal{E}	7.1	34 800	30 500	65 000	637 000

* Показатель определяют по нормативным или справочным данным или экспериментально исходя из конкретных условий обработки (см. табл. 7.2) детали по базовому или новому технологическим процессам.

Примечание. С индексом 1 — показатели базового, старого (заменяемого) технологического процесса, с индексом 2 — показатели нового, внедряемого технологического процесса.

7.2. Условия обработки (примеры расчета по методике)

№ примера	Технологический процесс	Оборудование, модель	Вид, тип, материал режущей части инструмента	Наименование, материал, твердость детали
1	Базовый	Токарный станок 16К20Ф3С5 с ЧПУ	Державочный напайной резец, Т15К6	Вставка ручья штампа, 5Х2МНФ, НРС 44—48
	Новый			
2	Базовый	Шлифовальный станок 3А161Н3	Шлифовальный круг ПП, корунд	Шпиндель, 40 НВ 240
	Новый			
3	Базовый	Вертикальный консольно-фрезерный станок на базе станка 6Р13В или 6Т13-1-Б	Фреза насадная с механическим креплением круглой пластины ВК-8	Корпус гидрососа гидростемы трактора, СЧ 21, НВ 163—229
	Новый			
4	Базовый	Специальный расточный станок ОС-6055	Державочный напайной резец чистовой, черновой, ВКЗМ	Гильза двигателя ЗИЛ-130 СЧ 24, НВ 197—241
	Новый			

Размеры обрабатываемой поверхности, мм			Режимы резания								Стойкость инструмента T ₀ , число заготовок
Диаметр d	Длина L	Ширина B	v, м/мин	n, мин ⁻¹	S ₀ , мм/об	S _m , м/мин	S _z , мм/зуб	t _{прод} , мм	t _{ок} , мм		
320	136	—	40,5	40	0,1	—	—	0,3	—	0,33	
			210	200	0,15	—	—	0,3	—	2,36	
70	1110	—	120—200	—	0,15	—	—	0,3—0,5	—	6	
			120—200	—	0,15	—	—	0,3—0,5	—	13	
—	250	120	85	100	—	250	0,098	4 ± 0,5	—	150	
			1570	2500	—	1600	0,03	4 ± 0,5	—	1154	
92,5	180	—	125	400	0,1	—	—	0,4—0,6	0,1	35	
			942	300	0,1	—	—	0,4—0,6	0,1	100	

Экономическую эффективность (\mathcal{E}) определяем как разность затрат изменяющихся частей себестоимости обработки единицы продукции по базовой (C_1) и новой (C_2) технологии, т. е. с использованием базового (старого) инструмента и нового (из композита или керамики), по формуле

$$\mathcal{E} = (C_1 - C_2) B_2 - E_n K_d. \quad (7.1)$$

Определяем экономическую эффективность в следующей последовательности.

1. Затраты C_1 и C_2 :

$$C_1 = S_{ин1} + S_{об1}; \quad (7.2)$$

$$C_2 = S_{ин2} + S_{об2}. \quad (7.3)$$

2. Затраты на приобретение (или изготовление) и эксплуатацию инструмента:

$$S_{ин1} = \frac{C_{ин1} + S_{пер1} k_{пер1} + S_{уст1} k_{уст1}}{b_1}; \quad (7.4)$$

$$S_{ин2} = \frac{C_{ин2} + S_{пер2} k_{пер2} + S_{уст2} k_{уст2}}{b_2}. \quad (7.5)$$

3. Затраты, связанные с эксплуатацией оборудования, на котором работает инструмент:

$$S_{об1} = S_{см1} t_{осн1}; \quad (7.6)$$

$$S_{об2} = S_{см2} t_{осн2}. \quad (7.7)$$

4. Число заготовок, обрабатываемых инструментом до его полного изнашивания:

$$b_1 = b'_1 k_{уст1}; \quad (7.8)$$

$$b_2 = b'_2 k_{уст2}. \quad (7.9)$$

5. Затраты на повторную заточку инструмента (или правку абразивного круга):

$$S_{пер1} = S_{см. пер1} T_{пер1}; \quad (7.10)$$

$$S_{пер2} = S_{см. пер2} T_{пер2}. \quad (7.11)$$

6. Для инструмента с механическим креплением многогранных пластин под $S_{пер}$ понимают затраты на поворот (или переворот) пластины или перебор пластины вне станка:

$$S_{пер1} = \eta_1 T_{пер1}; \quad (7.12)$$

$$S_{пер2} = \eta_2 T_{пер2}. \quad (7.13)$$

7.3. Определение затрат на инструмент и оборудование, рассчитываемых по формулам (4)–(15) методики (примеры расчета по методике)

№ примера	Технологический процесс	$S_{пер i}$	$S_{уст i}$	b_i , шт.	$S_{ин i}$, руб/дет.	$S_{об i}$, руб/дет.
		руб.				
1	Базовый	0,074	0,36	1,65	1,63	7,34
	Новый	0,09	0,36	198	0,63	0,95
2	Базовый	0,01	—	900	0,02	0,51
	Новый	0,015	0,1	1 556	0,09	0,11
3	Базовый	0,18	0,185	8 100	0,023	0,055
	Новый	0,36	0,185	83 088	0,041	0,0085
4	Базовый	0,21	0,14	248	0,0177	0,175
	Новый	0,014	0,14	8 800	0,0157	0,023

7. Стоимость одной переустановки инструмента на станке при замене изношенного инструмента новым:

$$S_{уст1} = S_{см1} T_{уст1}; \quad (7.14)$$

$$S_{уст2} = S_{см2} T_{уст2}. \quad (7.15)$$

8. Определяем окончательное значение экономической эффективности \mathcal{E} по формуле (1).

Расчет технико-экономической эффективности начинаем с заполнения карты условий обработки (табл. 7.2).

Исходя из конкретных режимов резания и размеров обрабатываемой заготовки, определяем основное технологическое время обработки заготовки $t_{осн i}$ по базовой и новой технологиям, а также определяем показатели $k_{пер i}$, $k_{уст i}$ и b'_i , связанные со стойкостью инструмента, и заносим их в табл. 7.2.

Оптовые цены на инструмент определяем по прейскуранту № 18-05-1981 либо по калькуляциям завода при его изготовлении на заводе-потребителе. Значения $C_{ин i}$ также заносим в табл. 7.1.

7.4. Сводная таблица экономической эффективности от внедрения инструмента из керамики и композита (примеры расчета по методике)

№ примера	Технологический процесс, операции, инструмент	Изменяющиеся части себестоимости обработки единицы продукции (детали) по технологическому процессу, руб/дет.		Годовой объем выпуска деталей B_n , шт/год	Дополнительные капитальные затраты K_d , руб.	Нормативный коэффициент эффективности E_n	Годовой экономический эффект E , руб. на выпуск, дет/год
		базовому C_1	новому C_2				
1	Обработка (точение по наружному диаметру и подрезка торца с обработкой ручьев) ручья штампа резцами с пластинами из ВОК-60 взамен резцов из Т15К6	8,97	1,58	5 000	14 216	0,15	34 800
2	Обточка шеек шпинделя по наружному диаметру резцами с пластинами из керамики взамен шлифования	0,53	0,20	92 400	—	0,15	30 500
3	Обработка плоскости разъема корпуса гидронасоса гидросистемы трактора торцовыми фрезами из композита 05 взамен фрез из ВК8	0,0780	0,0495	2 500 000	40 000	0,15	65 000
4	Растачивание гильз двигателя ЗИЛ-130 резцами из композита 01 взамен резцов из ВК31	0,193	0,0387	4 420 000	300 000	0,15	637 000

Показатели $S_{см. пер. i}$, U_i , $S_{см. i}$, $\tau_{уст. i}$ выбираем по нормативным данным.

Далее по формулам (4)—(15) определяем основные виды затрат, связанные с приобретением (изготовлением) и эксплуатацией инструмента. Последовательность расчета дана в табл. 7.3.

Значения изменяющихся частей себестоимости обработки единицы продукции C_1 и C_2 рассчитываем по формулам (2) и (3).

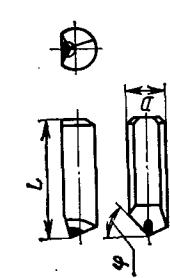
Дополнительные капитальные затраты K_d при внедрении нового технологического процесса определяем по данным предприятия. Как правило, это в первую очередь относится к приобретению мощного виброустойчивого токарного, расточного или фрезерного оборудования, имеющего большую частоту вращения шпинделя. В этом случае необходимо учитывать, что в результате концентраций операций и повышения производительности обработки высвобождаются несколько шлифовальных и (или) токарно-расточных (фрезерных) станков, занимаемые ими производственные площади, а главное — рабочие-станочники. Все указанное выше еще более увеличивает реальный экономический эффект, достигаемый на данном конкретном предприятии.

Анализ приведенных примеров расчета экономической эффективности свидетельствует об удобстве применения методики и возможности достаточно точного учета факторов, определяющих экономический эффект.

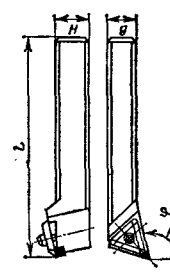
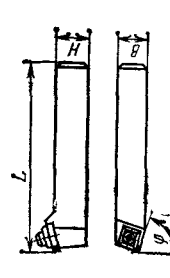
Так, при обработке заготовки вставки ручья штампа (пример № 1, см. табл. 7.1—7.4) керамическими резцами с пластинами из ВОК-60 повышается стойкость более чем в 7 раз по сравнению со стойкостью после обработки напайными твердосплавными (Т15К6) резцами и увеличивается производительность в 8 раз.

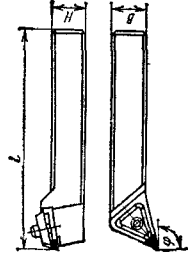
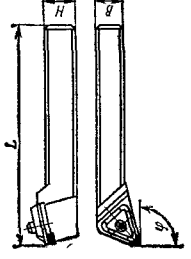
При замене напайных резцов, оснащенных твердым сплавом ВКЗМ, резцами с пластинами из композита 01 на операции растачивания отверстия диаметром $d = 92,5$ мм гильзы двигателя (пример № 4, см. табл. 7.1—7.4) производительность труда повысилась в 7,5 раза, а стойкость инструмента — более чем в 3 раза.

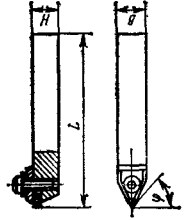
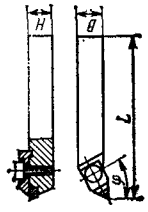
1. НОМЕНКЛАТУРА РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ, ОСНАЩЕННЫХ СТИ НА ОСНОВЕ НИТРИДА БОРА

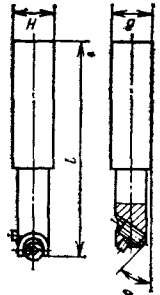
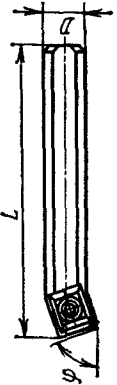
Инструмент, эскиз	Размеры, мм	Назначение
<p>Вставки перетачиваемые к токарным резцам с неразъемно закрепленными поликристаллами композитов 01 или 10, с ф, равными 10°, 15°, 35°, 45°, 60°, правые и левые</p> <p>ВЫС</p> 	<p>$D \times L$ 8×16 8×18 8×20</p>	<p>Точение без удара (композит 01) и с ударом (композит 10) заготовок из закаленных сталей и чугунов любой твердости, твердых сплавов ($S_0 \geq 15\%$) с глубиной резания 0,05—0,5 мм. Могут использоваться в качестве ножей торцовых фрез, а также державочных расточных резцов</p>


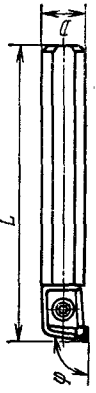
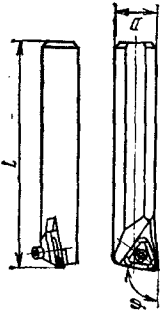
Продолжение прил. 1

Инструмент, эскиз	Размеры, мм	Назначение
<p>Резцы токарные сборные проходные с механическим креплением пластины квадратной формы из композитов 01, 05, 10Д, правые и левые</p> 	<p>$H \times B \times L$ $20 \times 20 \times 125$ $25 \times 25 \times 150$ $32 \times 25 \times 170$ $32 \times 32 \times 170$</p> <p>$H \times B \times L$ $20 \times 20 \times 125$ $25 \times 25 \times 150$ $32 \times 25 \times 170$ $32 \times 32 \times 170$</p>	<p>Точение без удара (композиты 01, 05, 10Д) и с ударом (композит 10Д) закаленных сталей и чугунов любой твердости. Литейная корка не допускается</p> <p>Точение без удара (композит 05 и 10Д) и с ударом (композит 10Д) закаленных сталей и чугунов любой твердости с $t = 2,5$ мм по чугуну и $t \leq 1,5$ мм по стали; $S_0 \leq 0,25$ мм/об. Литейная корка не допускается</p> 

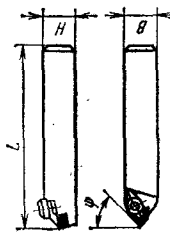
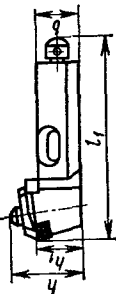
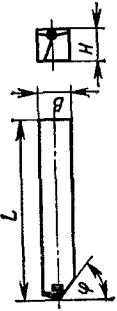
Инструмент, эскиз	Размеры, мм	Назначение
<p>Резцы токарные сборные проходные с механическим креплением пластин трехгранной формы из композитов 05 с $\varphi = 93^\circ$, правые и левые</p> 	<p>$H \times B \times L$ $20 \times 20 \times 125$ $25 \times 25 \times 150$ $32 \times 25 \times 170$ $32 \times 32 \times 170$</p>	<p>Тоочение без удара закаленных сталей и чугунов любой твердости с $t \leq 3$ мм по чугуны и $t \leq 2$ мм по стали; $S_0 \leq 0,15$ мм/об. Литейная корка не допускается</p>
<p>Резцы токарные сборные проходные с механическим креплением пластин ромбической формы из композитов 05 и 10Д с φ, равным 95 и 75°, правые и левые</p> 	<p>$H \times B \times L$ $20 \times 20 \times 125$ $25 \times 25 \times 150$ $32 \times 25 \times 170$ $32 \times 32 \times 170$</p>	<p>Тоочение без удара (композит 05) и с ударом (композит 10Д) закаленных сталей и чугунов. Для композита 05: $S_0, \text{ мм/об}$ $\leq 0,15$ $\leq 0,1$ $t, \text{ мм}$ ≤ 4 (чугун) $\leq 2,5$ (сталь) Для композита 10Д: $t, \text{ мм}$ ≤ 2 (чугун) 1 (сталь) $S_0, \text{ мм/об}$ $\leq 0,15$ $\leq 0,1$</p>

Инструмент, эскиз	Размеры, мм	Назначение
<p>Резцы токарные сборные проходные с механическим креплением перетачиваемой цилиндрической вставки с режущим элементом из композита 01, 02 или 10 с $\varphi = 45^\circ$</p> 	<p>$H \times B \times L$ $16 \times 16 \times 100$ $20 \times 20 \times 125$ $25 \times 25 \times 150$</p>	<p>Тоочение без удара (композит 01, 02) и с ударом (композит 10) закаленных сталей и чугунов с $t \leq 0,5$ мм; $S_0 \leq 0,15$ мм/об. Литейная корка не допускается</p>
<p>Резцы токарные сборные подрезные с механическим креплением перетачиваемой цилиндрической вставки с режущим элементом из композитов 01 или 10 с $\varphi = 93^\circ$, правые и левые</p> 	<p>$H \times B \times L$ $16 \times 16 \times 100$ $20 \times 20 \times 125$ $25 \times 25 \times 150$</p>	<p>Тоочение без удара (композит 01) и с ударом (композит 10) закаленных сталей и чугунов с $t \leq 0,5$ мм; $S_0 \leq 0,1$ мм/об. Литейная корка не допускается</p>

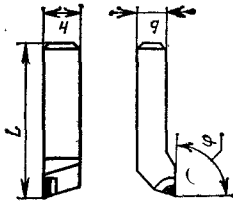
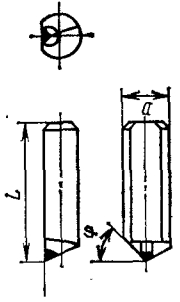
Инструмент, эскиз	Размеры, мм	Назначение
<p>Резцы токарные сборные расточные для сквозных и глухих отверстий с механическим креплением перетачиваемой цилиндрической вставки с режущим элементом из композита 01 или 10 с ф, равным 45 и 93°, правые и левые</p> 	<p>$H \times B \times L$ 16×16×125 20×20×150 25×25×170</p>	<p>Растачивание без удара (композит 01) и с ударом (композит 10) закаленных сталей и чугунов с $t \leq 0,5$ мм; S_0 до 0,15 мм/об. Литейная корка не допускается</p>
<p>Резцы токарные сборные расточные с механическим креплением пластин квадратной формы из композита 05 с ф, равным 75 и 45°, правые и левые</p> 	<p>$D \times L$ 20×200 25×250 32×300</p>	<p>Растачивание без удара закаленных сталей и чугунов любой твердости с $t \leq 1,5$ мм по чугуну и $t \leq 1,0$ мм по стали. $S_0 \leq 0,15$ мм/об. Литейная корка не допускается</p>

Инструмент, эскиз	Размеры, мм	Назначение
<p>Резцы токарные сборные расточные с механическим креплением пластин трехгранной формы из композита 05 с углом $\varphi = 93^\circ$, правые и левые</p> 	<p>$D \times L$ 25×250 32×300</p>	<p>Растачивание без удара закаленных сталей и чугунов любой твердости с $t \leq 3$ мм по чугуну и с $t \leq 2$ мм по стали. $S_0 \leq 0,1$ мм/об. Литейная корка не допускается</p>
<p>Резцы токарные сборные расточные с механическим креплением пластин ромбической формы из композита 05 и 10Д с углом $\varphi = 95^\circ$, правые и левые</p> 	<p>$D \times L$ 20×200 25×250 32×300</p>	<p>Растачивание без удара (композит 05) и с ударом (композит 10Д) закаленных сталей и чугунов. Для композита 05: t, мм ≤ 4 (чугун) $\leq 2,5$ (сталь) Для композита 10Д: t, мм ≤ 2 (чугун) ≤ 1 (сталь)</p> <p>S_0, мм/об 0,15 0,1</p> <p>S_0, мм/об $\leq 0,15$ $\leq 0,1$</p>
<p>Резцы токарные сборные расточные с механическим креплением пластин круглой формы из композитов 01, 05, 10Д, правые и левые</p> 	<p>$D \times L$ 20×200 25×250 32×300</p>	<p>Растачивание без удара (композит 01, 05, 10Д) и с ударом (композит 10Д) закаленных сталей и чугунов любой твердости. Литейная корка не допускается</p> <p>Композит 01 10Д 05</p> <p>t, мм $\leq 0,5$ $\leq 1,5$ $\leq 2,5$</p> <p>S_0, мм/об $\leq 0,15$ $\leq 0,2$ $\leq 0,3$</p>

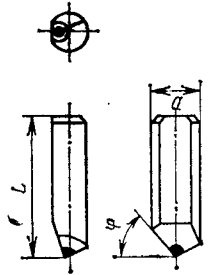
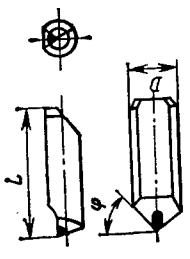
Продолжение прил. 1

Инструмент, эскиз	Размеры, мм	Назначение
<p>Вставки резцовые с механическим креплением пластин ромбической формы из композитов 05 и 10Д с ф, равным 45° и 60°</p> 	<p>$H \times B \times L$ 10×10×50 12×12×40 12×12×50 12×12×63 16×16×63 20×20×80 25×25×80</p>	<p>Растачивание отверстий в заготовках корпусных деталей из чугунов на горизонтально-расточных и отделочно-расточных станках, на сверлильно-фрезерно-расточных станках с ЧПУ</p>
<p>Вставки резцовые с механическим креплением круглых пластин из композита 01 и ромбических пластин из композитов 05 и 10Д с ф = 95°</p> 	<p>$h \times b \times h_1 \times l_1$ 12×11×10×50 16×16×12×55 20×20×16×63 12×11×10×50 16×16×12×55 20×20×16×63</p>	<p>Точение и растачивание на токарных, расточных и сверлильно-фрезерно-расточных станках</p>
<p>Резцы токарные прямоугольного сечения перетачиваемые, оснащенные композитом 01 или 10 с ф, равным 45°, 60°, 30°, 15°, правые и левые</p> 	<p>$H \times B \times L$ 8×8×32 10×10×40 10×10×65 12×12×70 16×12×80 16×16×80</p>	<p>Точение без удара (композит 01) и с ударом (композит 10) закаленных сталей и чугунов любой твердости с $t \leq 0,5$ мм. $S_0 \leq 0,15$ мм/об. Литеная корка не допускается</p>

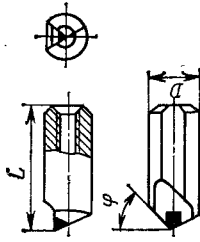
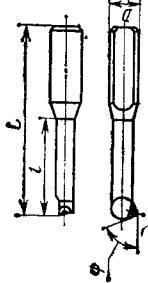
Продолжение прил. 1

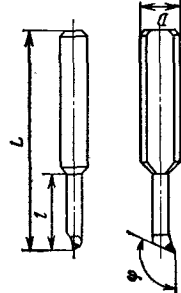
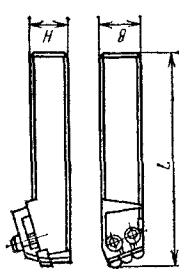
Инструмент, эскиз	Размеры, мм	Назначение
<p>Резцы токарные отогнутые с напайкой двухслойной пластиной из композита 05 с ф = 90°, правые и левые</p> 	<p>$H \times B \times L$ 20×12×125 25×16×140</p>	<p>Точение без удара закаленных сталей и чугунов с $t \leq 4$ мм; $S_0 \leq 0,15$ мм/об (чугун); $t \leq 2,5$ мм; $S_0 \leq 0,1$ мм/об (сталь)</p>
<p>Резцы расточные держачные перетачиваемые круглого сечения, оснащенные композитом 01 или 10 с ф, равным 45°, 35°, 20°, 60°, правые и левые</p> 	<p>$D \times L$ 10×25 12×25 16×30 16×60</p>	<p>Растачивание сквозных отверстий в заготовках малой жесткости из чугунов, закаленных сталей и твердых сплавов (с содержанием Со > 15%) с $S_0 \leq 0,1$ мм/об, $t \leq 0,5$ мм на координатно-расточных, алмазно-расточных и горизонтально-расточных станках</p>

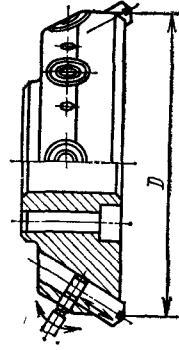
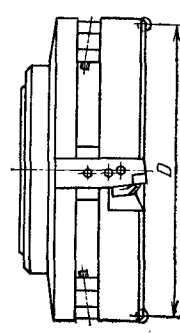
Продолжение прил. 1

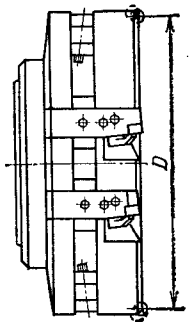
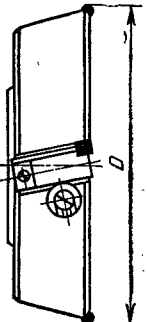
Инструмент, эскиз	Размеры, мм	Назначение
<p>Резцы расточные державочные перетачиваемые круглого сечения, оснащенные композитом 01 или 10 с ф, равным 10°, 15°, 35°, 40°, 50°, правые и левые</p> 	<p>$D \times L$ 10×25 12×25 16×30 16×60</p>	<p>Растачивание отверстий в заготовке из чугунов, закаленных сталей и твердых сплавов (с содержанием $S_0 \geq 15\%$) с $S_0 \leq 0,1$ мм, $t \leq 0,5$ мм на координатно-расточных, алмазно-расточных и горизонтально-расточных станках</p>
<p>Резцы расточные державочные перетачиваемые специальные круглого сечения, оснащенные композитом 01 или 10 с ф, равным 10°, 15°, 35°, 40°, 50°, правые и левые</p> 	<p>$D \times L$ 8×16 8×18 8×20 10×25</p>	<p>Растачивание отверстий в заготовках из чугунов, закаленных сталей и твердых сплавов (с содержанием $S_0 \geq 15\%$) с $S_0 \leq 0,1$ мм/об, $t \leq 0,5$ мм на координатно-расточных, алмазно-расточных и горизонтально-расточных станках</p>

Продолжение прил. 1

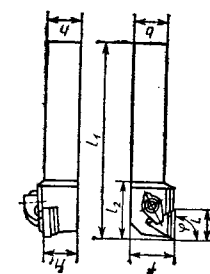
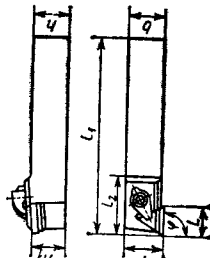
Инструмент, эскиз	Размеры, мм	Назначение
<p>Резцы расточные державочные регулируемые перетачиваемые круглого сечения, оснащенные композитом 01 или 10 с ф, равным 10°, 15°, 35°, 40°, 50°, правые и левые</p> 	<p>$D \times L$ 16×30</p>	<p>Растачивание отверстий в заготовках из чугунов, закаленных сталей и твердых сплавов (с содержанием $S_0 \geq 15\%$) с $S_0 \leq 0,1$ мм/об, $t \leq 0,5$ мм на координатно-расточных, алмазно-расточных, горизонтально-расточных, а также на станках с ЧПУ</p>
<p>Резцы расточные перетачиваемые круглого сечения для сквозных отверстий, в том числе к координатно-расточным станкам, с режущим элементом из композита 01 или 10 с ф, равным 45 и 75°</p> 	<p>$D \times L$ 8×50 10×50 12×50 14×50</p>	<p>Растачивание сквозных отверстий диаметром 5 мм и более в деталях из закаленных сталей и твердых сплавов (с содержанием $S_0 \geq 15\%$) с $S_0 \leq 0,1$ мм/об, $t \leq 0,3$ мм. Возможно растачивание отверстий в чугунных заготовках на станках с частотой вращения шпинделя не менее 20—30 мин⁻¹</p>

Инструмент, эскиз	Размеры, мм	Назначение
<p>Резцы расточные перегачиваемые круглого сечения для глухих отверстий, в том числе к координатно-расточным станкам, с режущим элементом из композита 01 или 10 с $\varphi = 93^\circ$</p> 	<p>$D \times L$ 8×50 10×50 12×50 14×50</p>	<p>Растачивание глухих отверстий диаметром 5 мм и более в заготовках из закаленных сталей и твердых сплавов (с содержанием $Co \geq 15\%$) с $S_0 \leq 0,1$ мм/об, $f \leq 0,3$ мм. Возможно растачивание отверстий в чугунных заготовках на станках с частотой вращения шпинделя не менее $20-30$ мин⁻¹</p>
<p>Резцы токарные сборные проходные ступенчатые с механическим креплением пластины круглой формы из композита 05 или 10Д, правые и левые</p> 	<p>$H \times B \times L$ $25 \times 25 \times 150$ $32 \times 25 \times 170$ $32 \times 32 \times 170$ $40 \times 40 \times 200$ $50 \times 50 \times 250$</p>	<p>Точение прокатных валков из закаленных сталей и чугунов с глубиной резания до 6 мм</p>

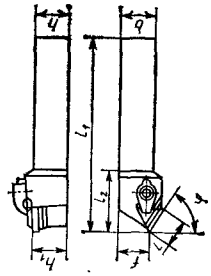
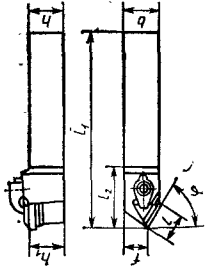
Инструмент, эскиз	Размеры, мм	Назначение
<p>Фрезы торцовые насадные с регулируемым торцовым биемнем зубьев с перегачиваемыми ножами, оснащенными композитом 01 или 10</p> 	<p>D, мм... 100 125 160 200 Число зубьев... 8 10 12 14</p>	<p>Финишная обработка на продольно-шлифовальных и координатно-расточных станках чугунов и сталей с $f \leq 0,5$ мм и $S_0 \leq 5$ м/мин (вершина ножа выполнена с большим радиусом 20—50 мм). Фрезерование открытых и закрытых (типа «ласточка хвоста») поверхностей. Скорость резания серых чугунов — до 3000 м/мин</p>
<p>Фрезы торцовые насадные с регулируемым торцовым биемнем зубьев, с механическим креплением пластин круглой и квадратной формы из композита 05 и 10Д</p> 	<p>D, мм Число зубьев 125 10 160 14 200 18 250 24 315 30 400 40 500 50 630 60 800 80</p>	<p>Чистовая обработка деталей из сталей (композит 10Д) и чугунов (композиты 05 и 10Д) любой твердости на станках фрезерной, расточной и шлифовальной групп с повышенными требованиями к шероховатости обработанной поверхности: $f \leq 1,5$ мм; $S_m \leq 2500$ мм/мин; скорость резания серых чугунов — до 3000 м/мин. Наиболее эффективно применение на автоматических линиях, в многоцелевых станках, гибких производственных модулях и системах</p>

Инструмент, эскиз	Размеры, мм	Назначение
<p>Фрезы торцовые насадные ступенчатые с регулируемым торцовым биением зубьев, с механическим креплением пластин круглой и квадратной формы из композита 05 и 10Д</p> 	<p>Число зубьев</p> <p>D, мм</p> <p>125 160 200 250 315 400 500 630 800</p>	<p>Предварительная и окончательная обработка заготовок из серых и высокопрочных чугунов, сталей (композит 10Д) любой твердости, в том числе по литой корке и с отбелом, на фрезерных автоматах и полуавтоматах, на станках с ЧПУ, многопелетевых, продольно-фрезерных, вертикально-фрезерных, расточных станках взамен твердосплавных фрез. Для чугунов $t \leq 6,0$ мм; для сталей $t \leq 3,0$ мм; $S_m \leq 2500$ мм/мин; скорость резания серых чугунов с $i = 6$ $v \leq 1500$ м/мин</p>
<p>Фрезы торцовые насадные и регулируемые с механическим креплением высокопрочных пластин круглой и квадратной формы из композита 05 или 10Д</p> 	<p>Число зубьев</p> <p>D, мм</p> <p>20 40 63 80 100</p>	<p>Обработка заготовок из сталей (композит 10) и чугунов (композиты 05, 10Д) любой твердости на станках фрезерной, расточной и шлифовальной групп. Для сталей $t \leq 2,0$ мм; для чугунов $t \leq 4$ мм</p>

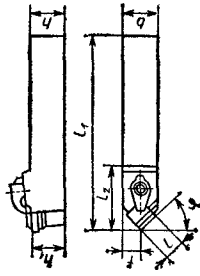
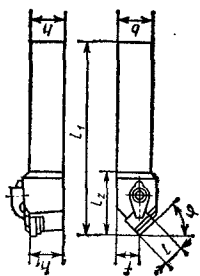
2. НОМЕНКЛАТУРА РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ, ОСНАЩЕННЫХ КЕРАМИКОЙ

Инструмент, эскиз	Основные размеры, мм	Обозначение по ГОСТ 26476-85	Назначение
<p>Резцы токарные проходные с механическим креплением трехгранных пластин, $\varphi = 90^\circ$, правые и левые</p> 	<p>$h \times b \times l_1 \times l_2_{\max} \times f$</p> <p>20×20×125×32×20,5 20×25×150×32×25,5 32×25×170×32×25,5 32×32×170×32×33</p>	<p>CFANR/L 2020K16 CFANR/L 2525M16 CFANR/L 3225P16 CFANR/L 3232P16</p>	<p>Резцы с пластинами из оксидокорбидной керамики (ВОК-60, В-3 и кортинита) следует применять при обработке закаленных сталей с HRC 30—60, ковких, модифицированных и отбеленных чугунов с HB 300—650. Резцы с пластинами из оксидной керамики (ВО-13, ВШ-75) следует применять при чистовом и получистовом точении сырых или термолученных конструкционных и легированных сталей и серых чугунов. Точение и проход</p>
<p>Резцы токарные проходные отогнутые с механическим креплением трехгранных пластин, $\varphi = 90^\circ$, правые и левые</p> 	<p>$h \times b \times l_1 \times l_2_{\max} \times f$</p> <p>20×20×125×32×25 25×25×150×32×32 32×25×170×32×32 32×32×170×32×40</p>	<p>СТGNR/L 2020K18 СТGNR/L 3225M16 СТGNR/L 3225P16 СТGNR/L 3232P16</p>	<p>То же. Обработка в упор</p>

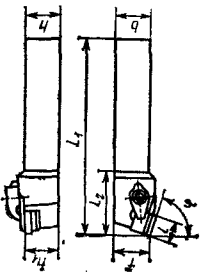
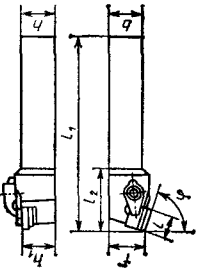
Продолжение прил. 2

Инструмент, эскиз	Основные размеры, мм	Обозначение по ГОСТ 26476—85	Назначение
<p>Резцы токарные проходные с механическим креплением трехгранных пластин из керамики, $\varphi = 60^\circ$, правые и левые</p> 	$h \times b \times l_1 \times l_2_{\max} \times f$ $20 \times 20 \times 125 \times 32 \times 13$ $25 \times 25 \times 150 \times 32 \times 17$	<p>СТЕНR/L 2020K16 СТЕНR/L 2525M16</p>	<p>Резцы с пластинами из оксидно-карбидной керамики (ВОК-60, В-3 и кортинита) следует применять при обработке закаленных сталей с HRC 30—60, ковких, модифицированных и отбеленных чугунов с HB 300—650. Резцы с пластинами из оксидной керамики (ВО-13, ВШ-75) следует применять при чистовом и получистовом точении сырых или термоструженных конструкционных и легированных сталей и серых чугунов.</p> <p>Тоčenje напроход и подрезка торца</p>
<p>Резцы токарные проходные отогнутые с механическим креплением трехгранных пластин, $\varphi = 60^\circ$, правые и левые</p> 	$h \times b \times l_1 \times l_2_{\max} \times f$ $20 \times 20 \times 125 \times 32 \times 7$ $25 \times 25 \times 150 \times 32 \times 32$	<p>СТТNR/L 2020K16 СТТNR/L 2525M16</p>	<p>Тоčenje напроход и подрезка торца</p>

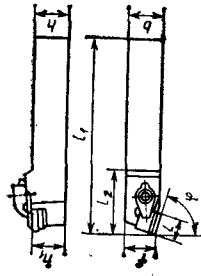
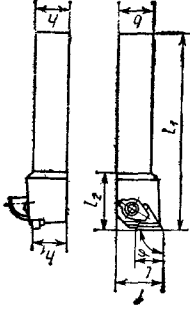
Продолжение прил. 2

Инструмент, эскиз	Основные размеры, мм	Обозначение по ГОСТ 26476—85	Назначение
<p>Резцы токарные проходные с механическим креплением квадратных пластин из керамики, $\varphi = 45^\circ$, правые и левые</p> 	$h \times b \times l_1 \times l_2_{\max} \times f$ $20 \times 20 \times 125 \times 36 \times 10$ $25 \times 25 \times 150 \times 36 \times 12,5$ $32 \times 25 \times 170 \times 36 \times 12,5$ $32 \times 32 \times 170 \times 36 \times 12,5$	<p>CSDNN 2020K12 CSDNN 2525M12 CSDNN 3225P12 CSDNN 3232P12</p>	<p>То же. Тоčenje напроход и снятие фасок</p>
<p>Резцы токарные проходные отогнутые с механическим креплением квадратных пластин, $\varphi = 45^\circ$, правые и левые</p> 	$h \times b \times l_1 \times l_2_{\max} \times f$ $20 \times 20 \times 125 \times 36 \times 25$ $25 \times 25 \times 150 \times 36 \times 32$ $32 \times 25 \times 170 \times 36 \times 32$ $32 \times 32 \times 170 \times 36 \times 40$	<p>CSSNR/L 2020K12 CSSNR/L 2525M12 CSSNR/L 3225P12 CSSNR/L 3232P12</p>	<p>То же. Тоčenje напроход, снятие фасок и подрезка торца</p>

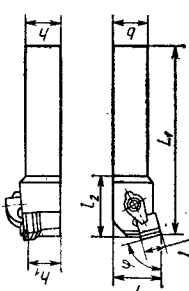
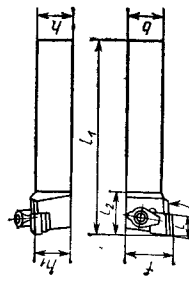
Продолжение прил. 2

Инструмент, эскиз	Основные размеры, мм	Обозначение по ГОСТ 26476—85	Назначение
<p>Резцы токарные проходные отогнутые с механическим креплением квадратных пластин из керамики, $\varphi = 60^\circ$, правые и левые</p> 	$h \times b \times l_1 \times l_2 \times l_{2max} \times f$ 20×20×125×36×22 25×25×150×36×27 32×25×170×36×27 32×32×170×36×27 32×32×170×36×35	CSTNR/L 2020K12 CSTNR/L 2525M12 CSTNR/L 3225P12 CSTNR/L 3225P12 CSTNR/L 3232P12	Резцы к пластинам из оксидно-карбидной керамики (ВОК-60, В-3 и кортинита) следует применять при обработке закаленных сталей с HRC 30—60, ковких, модифицированных и отбеленных чугунов с HB 300—650. Резцы с пластинами из оксидной керамики (ВО-13, ВШ-75) следует принять при чистовом и получистовом точении сырых или термолученных конструкционных и легированных сталей и серых чугунов. Точение напроход и подрезка торца То же
<p>Резцы токарные проходные с механическим креплением квадратных пластин, $\varphi = 75^\circ$, правые и левые</p> 	$h \times b \times l_1 \times l_2 \times l_{2max} \times f$ 20×20×125×36×17 25×25×150×36×22 32×25×170×36×22 32×32×170×36×27	CSBNR/L 2020K12 CSBNR/L 2525M12 CSBNR/L 3225P12 CSBNR/L 3232P12	

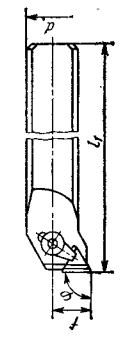
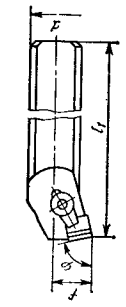
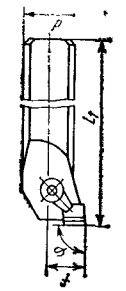
Продолжение прил. 2

Инструмент, эскиз	Основные размеры, мм	Обозначение по ГОСТ 26476—85	Назначение
<p>Резцы токарные проходные отогнутые с механическим креплением квадратных пластин из керамики, $\varphi = 75^\circ$</p> 	$h \times b \times l_1 \times l_2 \times l_{2max} \times f$ 20×20×125×36×22 25×25×150×36×27	CSRNR/L 2020K12 CSRNR/L 2525M12	То же. Точение напроход и подрезка торца
<p>Резцы токарные подрезные отогнутые с механическим креплением трехгранных пластин, $\varphi = 90^\circ$, правые и левые</p> 	$h \times b \times l_1 \times l_2 \times l_{2max} \times f$ 20×20×125×32×25 25×25×150×32×32	CTFNR/L 2020K16 CTFNR/L 2525M16	То же. Подрезка торца

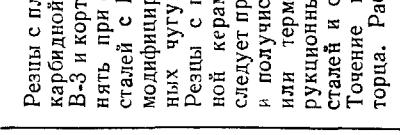

Продолжение прил. 2

Инструмент, эскиз	Основные размеры, мм	Обозначение по ГОСТ 26476—85	Назначение
<p>Резцы токарные подрезные отогнутые с механическим креплением квадратных пластин, $\varphi = 75^\circ$, правые и левые</p> 	$h \times b \times l_1 \times l_2 \times l_{\max} \times f$ $20 \times 20 \times 125 \times 36 \times 25$ $25 \times 25 \times 150 \times 36 \times 32$ $32 \times 32 \times 170 \times 36 \times 40$	CSKNR/L 2020K12 CSKNR/L 2525M12 CSKNR/L 3232P12	<p>Резцы с пластинами из оксидокорундовой керамики (ВОК-60, В-3 и коргинита) следует применять при обработке закаленных сталей с HRC 33—60, ковких, модифицированных и отбеленных чугунов с HB 300—650. Резцы с пластинами из оксидной керамики (ВО-13, ВШ-75) следует применять при чистовом и получистовом точении сырых или термолученных конструкционных и легированных сталей и серых чугунов. Подрезка торца.</p>
<p>Резцы токарные проходные отогнутые с механическим креплением ромбических пластин, $\varepsilon = 80^\circ$, $\varphi = 95^\circ$, правые и левые</p> 	$h \times b \times l_1 \times l_2 \times l_{\max} \times f$ $25 \times 25 \times 150 \times 36 \times 32$ $32 \times 32 \times 170 \times 45 \times 40$	CCLNR/L 2525M12 CCLNR/L 3232P12	<p>То же. Точение напроход и подрезка торца</p>

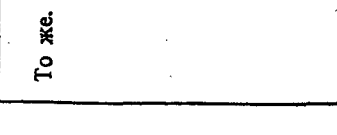
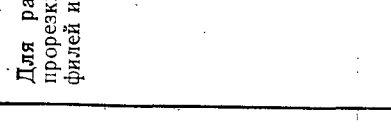
Продолжение прил. 2

Инструмент, эскиз	Основные размеры, мм	Обозначение по ГОСТ 26476—85	Назначение
<p>Резцы токарные расточные с механическим креплением трехгранных пластин, $\varphi = 90^\circ$, правые и левые</p> 	$d \times l_1 \times f \times D_{\min}$ $32 \times 250 \times 22 \times 45$ $32 \times 350 \times 22 \times 45$ $50 \times 350 \times 35 \times 63$ $50 \times 550 \times 35 \times 63$	S32R—CTFNR/L 16 S32S—CTFNR/L 16 S50S—CTFNR/L 16 S50U—CTFNR/L 16	<p>То же. Расточка глухих и сквозных отверстий</p>
<p>Резцы токарные расточные с механическим креплением квадратных пластин, $\varphi = 75^\circ$, правые и левые</p> 	$d \times l_1 \times f \times D_{\min}$ $32 \times 250 \times 22 \times 45$ $32 \times 350 \times 22 \times 45$ $50 \times 350 \times 35 \times 63$ $50 \times 550 \times 35 \times 63$	S32R—CSKNR/L 12 S32S—CSKNR/L 12 S50S—CSKNR/L 12 S50U—CSKNR/L 12	<p>То же. Расточка сквозных отверстий</p>
<p>Резцы токарные расточные с механическим креплением ромбических пластин, $\varepsilon = 80^\circ$, $\varphi = 95^\circ$, правые и левые</p> 	$d \times l_1 \times f \times D_{\min}$ $32 \times 250 \times 22 \times 45$ $50 \times 350 \times 35 \times 63$	S32R—CCNR/L 12 S50S—CCLN/L 12	<p>То же. Расточка глухих и сквозных отверстий</p>

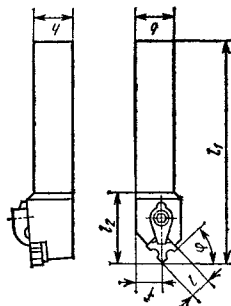
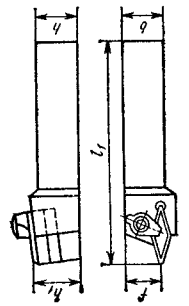
Продолжение прил. 2

Инструмент, эскиз	Основные размеры, мм	Обозначение по ГОСТ 26476—85	Назначение
<p>Резцы токарные проходные отогнутые с механическим креплением ромбических пластин, $\alpha = 55^\circ$, $\varphi = 93^\circ$, правые и левые</p> 	$h \times b \times l_1 \times l_2 \times f$ $20 \times 20 \times 125 \times 30 \times 25$ $25 \times 25 \times 160 \times 36 \times 32$ $32 \times 32 \times 170 \times 45 \times 40$	CDLNR/L 2020 CDLNR/L 2525M12 CDLNR/L 3232P12	Резцы с пластинами из оксидно-карбидной керамики (ВОК-60, В-3 и кортинита) следует применять при обработке закаленных сталей с HRC 30—60, ковких, модифицированных и отбеленных чугунов с HB 300—650. Резцы с пластинами из оксидной керамики (ВО-13, ВШ-75) следует применять при чистовом и получистовом точении сырых или термоулучшенных конструкционных и легированных сталей и серых чугунов. Точение напроход и подрезка торца. Работа по копиру.
<p>Резцы токарные проходные отогнутые с механическим креплением круглых пластин, правые и левые</p> 	$h \times b \times l_1 \times f$ $16 \times 16 \times 100 \times 20$ $20 \times 20 \times 125 \times 25$ $25 \times 25 \times 150 \times 32$ $32 \times 25 \times 170 \times 32$	CR NR/L CR NR/L CR NR/L CR NR/L	То же. Точение напроход и подрезка торца

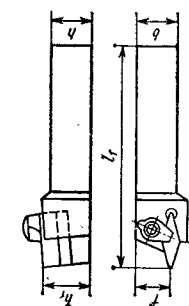
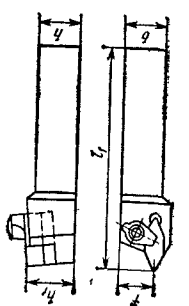
Продолжение прил. 2

Инструмент, эскиз	Основные размеры, мм	Обозначение по ГОСТ 26476—85	Назначение
<p>Резцы токарные проходные с механическим креплением круглых пластин, правые и левые</p> 	$h \times b \times l_1 \times f$ $16 \times 16 \times 100 \times 10$ $20 \times 20 \times 125 \times 12,5$ $25 \times 25 \times 150 \times 12,5$ $32 \times 25 \times 170 \times 12,5$	CR NR/L CR NR/L CR NR/L CR NR/L	То же. Точение напроход
<p>Резцы токарные специальные с механическим креплением пластин для нарезания ручьевых канавок, шкивов, правые и левые</p> 	$h \times b \times l_1 \times f \times l_2$ $32 \times 32 \times 275 \times 24 \times 35$ $32 \times 32 \times 175 \times 22 \times 40$ $32 \times 32 \times 175 \times 22 \times 40$ $32 \times 32 \times 175 \times 22 \times 40$	—	Для радиусных фасок и для прорезки трепещевидных профилей и ручьев канавок шкивов

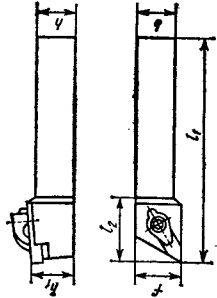
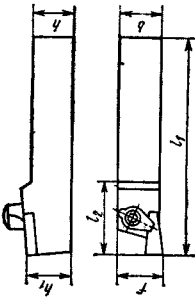
Продолжение прил. 2

Инструмент, эскиз	Основные размеры, мм	Обозначение по ГОСТ 26476—86	Назначение
<p>Резцы токарные специальные проходные с механическим креплением пластин фасонной формы для наружных радиусов, правые и левые</p> 	$h \times b \times l_1 \times f \times l_2$ 20×20×125×22×36 25×25×150×27×36	—	Снятие радиусных фасок на втулках, зачистка сварных швов и т. п.
<p>Резцы токарные специальные с механическим креплением ромбовидных пластин для прорезки специальных канавок, правые и левые</p> 	$h \times b \times l_1 \times f$ 32×25×170×22 32×32×170×24	—	Прорезка галтелей, ручьев и нарезание резьбы специальных форм

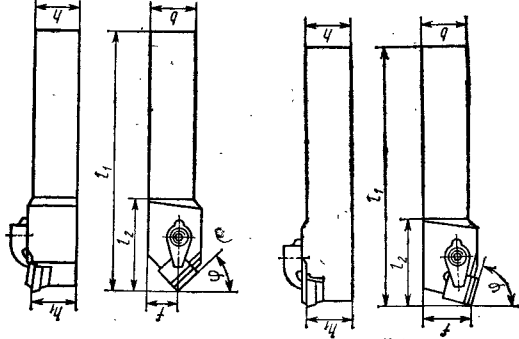
Продолжение прил. 2

Инструмент, эскиз	Основные размеры, мм	Обозначение по ГОСТ 26476—86	Назначение
<p>Резцы токарные специальные с механическим креплением ромбовидных пластин для прорезания радиусных канавок, правые и левые</p> 	$h \times b \times l_1 \times f$ 32×25×170×22 32×32×170×24	—	Прорезка галтелей, ручьев и нарезание резьбы специальных форм
<p>Резцы токарные специальные с механическим креплением ромбовидных пластин для нарезания резьбы, правые и левые</p> 	$h \times b \times l_1 \times f$ 32×25×170×22 32×32×170×24	—	То же

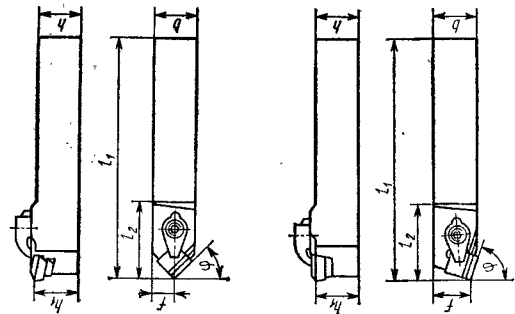
Продолжение прил. 2

Инструмент, эскиз	Основные размеры, мм	Обозначение по ГОСТ 26476—85	Назначение
<p>Резцы токарные специальные проходные с механическим креплением ромбовидных пластин, правые и левые</p> 	$h \times b \times L_1 \times f \times L_2$ 38×25×170×22×36 32×32×170×24×36	—	Прорезка гайтелей, ручьев и нарезание резьбы специальных форм
<p>Резцы токарные специальные с механическим креплением пластин для прорезки прямоугольных канавок</p> 	$h \times b \times L_1 \times f \times L_2$ 25×25×170×25,5×36 32×25×170×25,5×36	—	Прорезка и отрезка

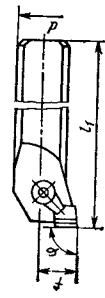
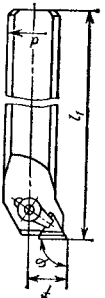
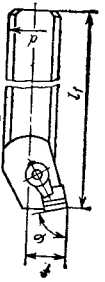
Продолжение прил. 2

Инструмент, эскиз	Основные размеры, мм	Обозначение по ГОСТ 26476—85	Назначение
<p>Резцы токарные проходные отогнутые с механическим креплением квадратных пластин с задними углами $\alpha = 7^\circ$, φ, равным $45^\circ, 75^\circ$</p> 	$h \times b \times L_1 \times L_2 \times f$ 20×20×125×36×10 25×25×150×36×12,5 32×25×170×36×12,5 32×32×170×36×12,5	CS DCR/L	Точение напроход и подрезка торца

Продолжение прил. 2

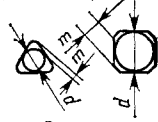
Инструмент, эскиз	Основные размеры, мм	Обозначение по ГОСТ 26476—85	Назначение
<p>Резцы токарные проходные с механическим креплением квадратных пластин с задними углами $\alpha = 7^\circ, \Phi, \text{ равным } 45^\circ, 75^\circ$</p> 	<p>$h \times b \times l_1 \times l_2 \times f$ $20 \times 20 \times 125 \times 36 \times 10$ $25 \times 25 \times 150 \times 36 \times 12,5$ $32 \times 25 \times 170 \times 36 \times 12,5$ $32 \times 32 \times 170 \times 36 \times 12,5$</p>	<p>—</p>	<p>Точение напроход и подрезка торца</p>

Продолжение прил. 2

Инструмент, эскиз	Основные размеры, мм	Обозначение по ГОСТ 26476—85	Назначение
<p>Резцы токарные расточные с механическим креплением ромбических пластин, $\epsilon = 80^\circ, \Phi = 95^\circ$</p> 	<p>$d \times l_1 \times f \times D \text{ min}$ $32 \times 250 \times 22 \times 45$ $50 \times 350 \times 22 \times 45$ $50 \times 350 \times 35 \times 63$ $50 \times 550 \times 35 \times 63$</p>	<p>—</p>	<p>Для расточки глухих и сквозных отверстий</p>
<p>Резцы токарные расточные с механическим креплением трехгранных пластин с задними углами $\alpha = 7^\circ, \Phi = 90^\circ$</p> 	<p>$d \times l_1 \times f \times D \text{ min}$ $32 \times 250 \times 22 \times 45$ $32 \times 350 \times 22 \times 45$ $50 \times 350 \times 35 \times 63$ $50 \times 550 \times 35 \times 63$</p>	<p>—</p>	<p>То же</p>
<p>Резцы токарные расточные с механическим креплением квадратных пластин с задними углами $\alpha = 7^\circ, \Phi = 45^\circ, 75^\circ$</p> 	<p>$h \times l_1 \times f \times D \text{ min}$ $32 \times 250 \times 22 \times 45$ $32 \times 350 \times 22 \times 45$ $50 \times 350 \times 35 \times 63$ $50 \times 550 \times 35 \times 63$</p>	<p>—</p>	<p>Для расточки сквозных отверстий</p>

3. Обозначение режущих пластин согласно ГОСТ 19042-80

Режущие пластины для фрез с радиусными и прямыми фасками



1. Форма пластин
- H шестигранная 120°
 - O восьмигранная 135°
 - P пятигранная 108°
 - R круглая
 - S квадратная 90°
 - T трехгранная 60°
 - C ромбическая 80° 35° 75° 86,35°
 - D ромбическая ламинатная 80°
 - E трехгранная 80°
 - L прямая угловая 90°
 - A ромбическая 85°
 - B ромбическая 55°
 - K ромбическая 55°

2. Главный задний угол
- A 3°
 - B 5°
 - C 7°
 - D 15°
 - E 20°
 - F 25°
 - G 30°
 - N 0°
 - P 11°

3. Допуски, мм

Форма	Допуски, мм
A	$\pm 0,005$
B	$\pm 0,005$
C	$\pm 0,005$
D	$\pm 0,013$
E	$\pm 0,025$
F	$\pm 0,025$
G	$\pm 0,025$
N	$\pm 0,013$
P	$\pm 0,013$
R	$\pm 0,013$
S	$\pm 0,013$
T	$\pm 0,013$
U	$\pm 0,013$
V	$\pm 0,013$
W	$\pm 0,013$
X	$\pm 0,013$

4. Тил стружколома-теля или крепления

5. Размер пластин, мм

Форма	Допуски, мм
A	$\pm 0,005$
B	$\pm 0,005$
C	$\pm 0,005$
D	$\pm 0,013$
E	$\pm 0,025$
F	$\pm 0,025$
G	$\pm 0,025$
N	$\pm 0,013$
P	$\pm 0,013$
R	$\pm 0,013$
S	$\pm 0,013$
T	$\pm 0,013$
U	$\pm 0,013$
V	$\pm 0,013$
W	$\pm 0,013$
X	$\pm 0,013$

6. Допустимые отклонения для основных форм R, L, A, B, K, H, O

Форма	Допустимые отклонения, мм
R	$\pm 0,005$
L	$\pm 0,005$
A	$\pm 0,005$
B	$\pm 0,005$
K	$\pm 0,005$
H	$\pm 0,005$
O	$\pm 0,005$

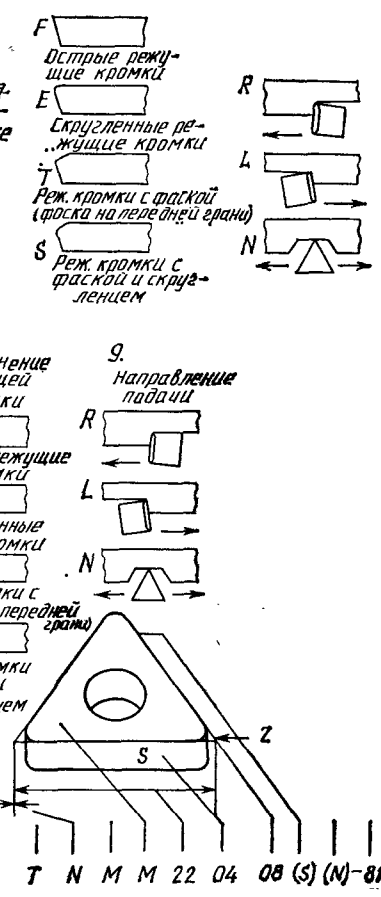
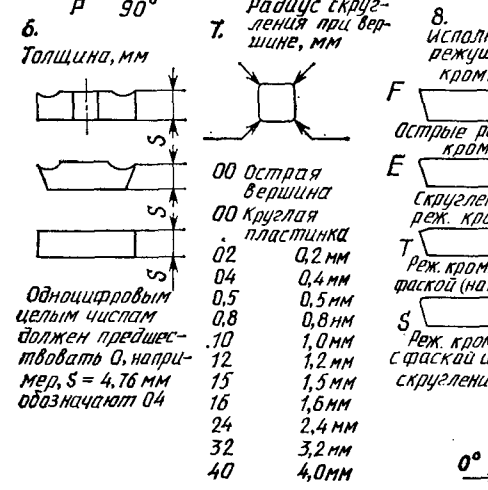
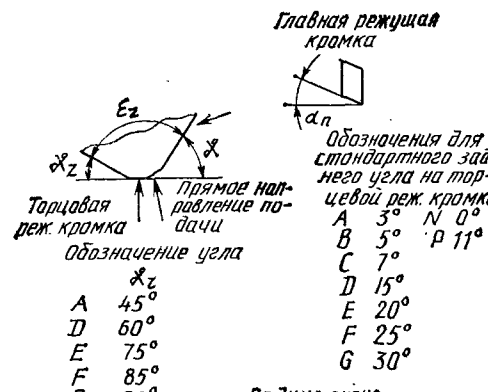
7. Допустимые отклонения для основных форм P, S, T, C, E, M, W

Форма	Допустимые отклонения, мм
P	$\pm 0,005$
S	$\pm 0,005$
T	$\pm 0,005$
C	$\pm 0,005$
E	$\pm 0,005$
M	$\pm 0,005$
W	$\pm 0,005$

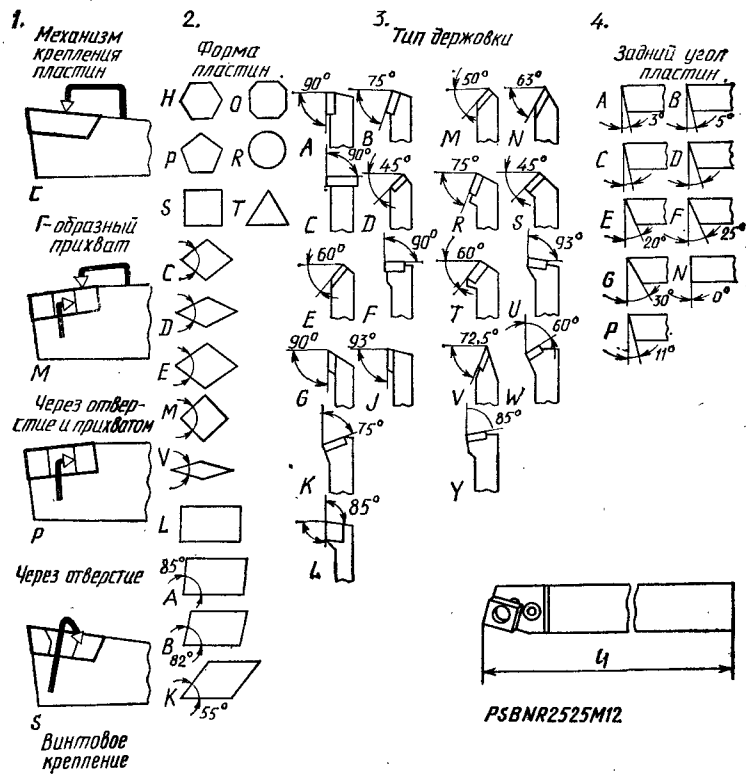
8. Допустимые отклонения для основных форм D и M

Форма	Допустимые отклонения, мм
D	$\pm 0,005$
M	$\pm 0,005$

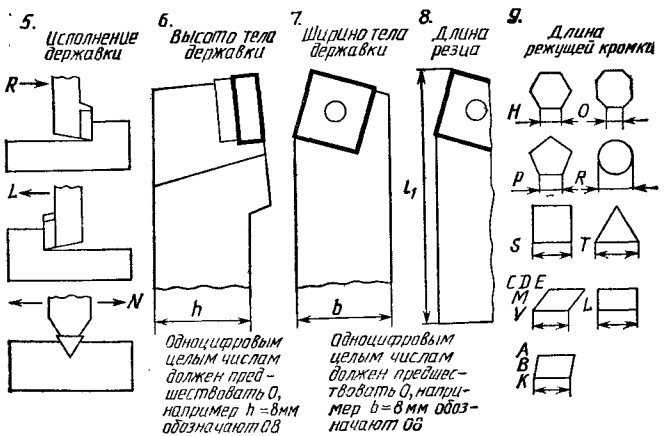
4. Тил стружколома-теля или крепления
- N
 - R
 - F
 - A
 - M
 - G
 - T
 - C
 - D
 - E
 - M
 - V
 - W
 - L
 - A
 - B
 - K
5. Размер пластин, мм
- Х. Для специальных исполнений и для неравно-сторонних пластин



4. Обозначение токарных резцов для наружного точения согласно ГОСТ 26476-85



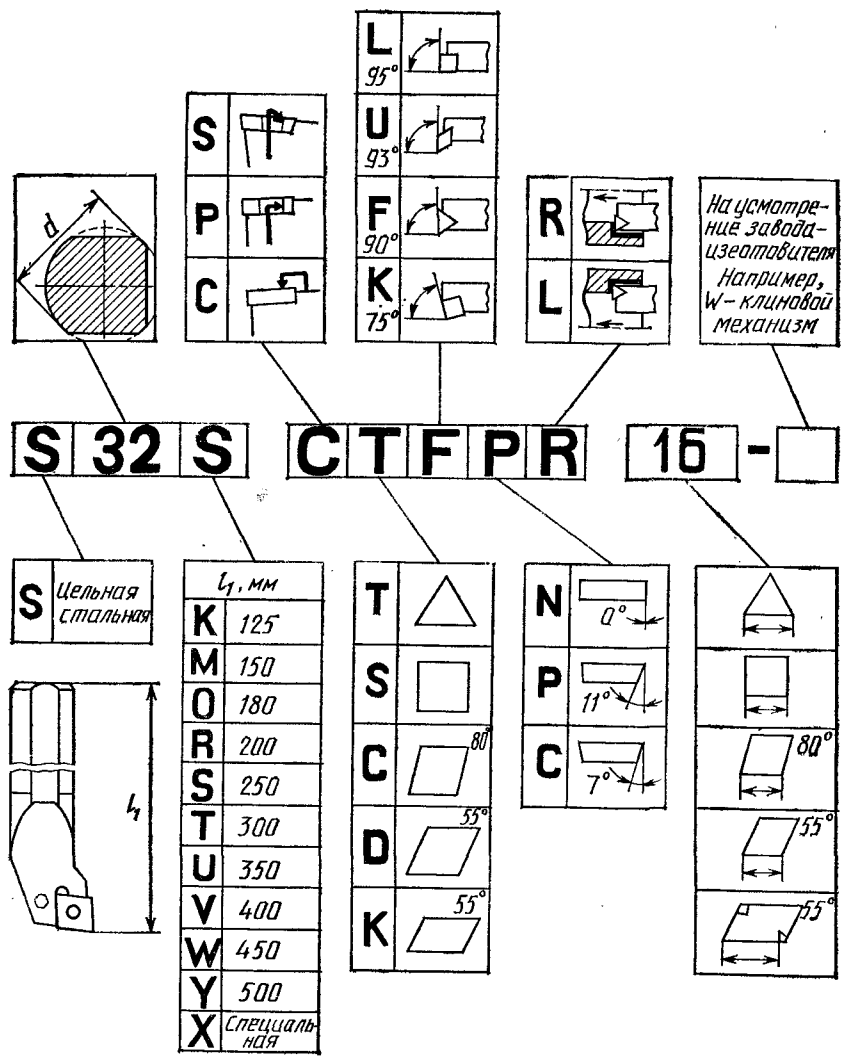
PSB NR2525M12



Односторонним целым числом должен предшествовать 0, например h = 8 мм обозначают 08

Односторонним целым числом должен предшествовать 0, например b = 8 мм обозначают 08

5. Обозначение расточных державок согласно системе ISO

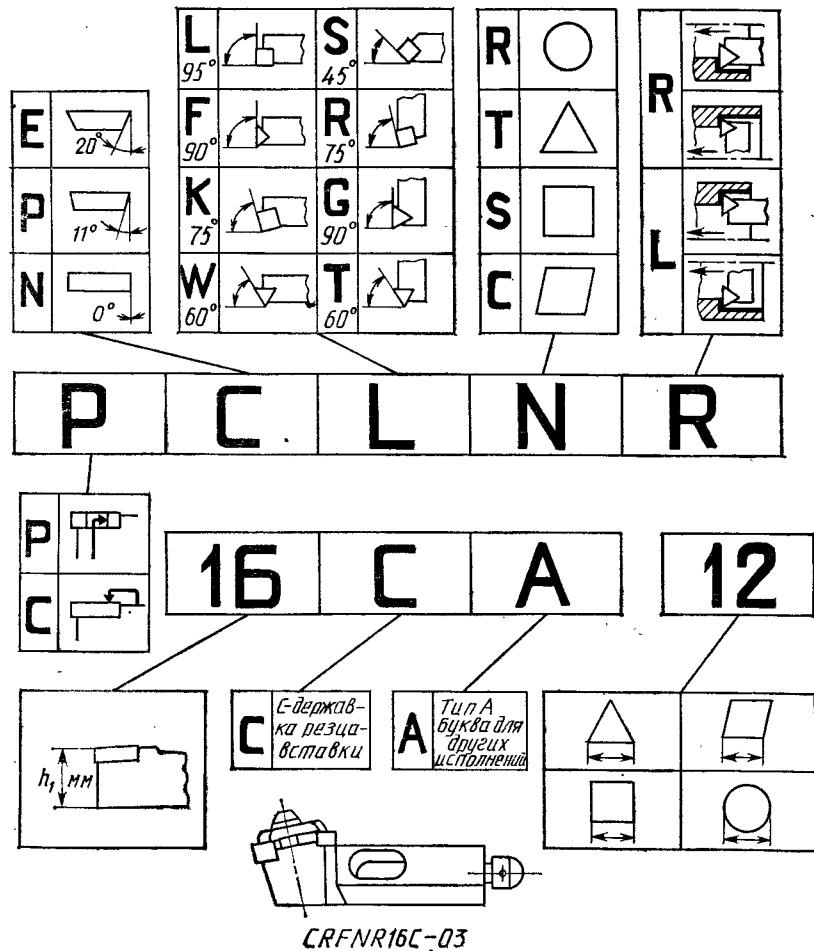


S 32 S C T F P R 16 -

S	Цельная стальная	l_1 , мм	T	△	N	0°	△
		K	125	S	□	P	11°
		M	150	C	□ ^{80°}	C	7°
		O	180	D	□ ^{55°}		□ ^{80°}
		R	200	K	□ ^{55°}		□ ^{55°}
		S	250	X	Специальная		□ ^{55°}
		T	300				
		U	350				
		V	400				
		W	450				
		Y	500				
		X	Специальная				

На усмотрение завода-изготовителя. Например, W - клинковой механизм

6. Обозначение резцов-вставок согласно ГОСТ 26476-85



7. ПРИБЛИЖЕННЫЕ СООТНОШЕНИЯ ЧИСЕЛ ТВЕРДОСТИ ПО БРИНЕЛЛЮ, РОКВЕЛЛУ, ШОРУ, ВИККЕРСУ И ЗНАЧЕНИЯ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ (ДЛЯ СТАЛИ)

Диаметр отпечатка, мм	Число твердости по Бринеллю (шарик \varnothing 10 мм; нагрузка 30 000 Н)		Число твердости по Роквеллу		Число твердости по Шору	Число твердости по Виккерсу	Предел прочности при растяжении стали, МПа				
	Стальной шарик	Твердосплавный шарик	Шкала С HRC	Шкала В HRB			НС	HV	углеродистой	хромистой	никелевой и хромо-никелевой
2,00	946	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
2,05	899	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
2,10	856	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
2,15	817	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
2,20	780	872	72	—	106	1224	—	—	—	—	
2,25	745	840	70	—	102	1116	—	—	—	—	
2,30	712	812	68	—	98	1022	—	—	—	—	
2,35	682	794	66	—	94	941	—	—	—	—	
2,40	653	760	64	—	91	868	—	—	—	—	
2,45	627	724	62	—	87	804	—	—	—	—	
2,50	601	682	60	—	84	746	—	210	204	—	
2,55	578	646	58	—	81	694	—	202	197	—	
2,60	555	614	56	—	78	650	—	194	189	—	
2,65	534	578	54	—	76	606	—	187	182	—	
2,70	514	555	52	120	73	587	—	180	175	—	
2,75	495	525	50	119	71	551	—	173	168	—	
2,80	477	514	49	118	68	534	—	167	162	—	
2,85	461	477	48	117	66	502	—	161	157	—	
2,90	444	460	46	116	64	474	160	155	151	—	
2,95	429	432	45	115	62	460	155	150	146	—	
3,00	415	418	43	115	61	435	149	145	141	—	
3,05	401	401	42	114	59	423	145	140	136	—	
3,10	388	388	41	114	57	401	140	136	132	—	
3,15	375	375	40	113	56	390	135	131	127	—	
3,20	363	363	39	112	54	380	131	127	123	—	

Продолжение прил. 7

Диаметр отпечатка, мм	Число твердости по Бринеллю (шарик Ø 10 мм; нагрузка 30 000 Н)		Число твердости по Роквеллу		Число твердости по Шору	Число твердости по Виккерсу	Предел прочности при растяжении стали, МПа		
	Число твердости НВ		Шкала С HRC	Шкала В HRB			углеродистой	хромистой	никелевой и хромо-никелевой
	Стальной шарик	Твердосплавный шарик							
3,25	352	352	38	111	53	361	128	123	120
3,30	341	341	36	110	51	344	123	120	116
3,35	331	331	35	109	50	334	119	116	113
3,40	321	321	33	109	49	320	116	112	109
3,45	311	311	32	108	47	311	112	109	106
3,50	302	302	31	107	46	303	109	105	103
3,55	293	—	30	106	45	292	105	102	100
3,60	285	—	29	105	44	285	102	100	97
3,65	277	—	28	105	43	278	100	97	94
3,70	269	—	27	104	42	270	97	94	92
3,75	262	—	26	103	41	261	94	92	89
3,80	255	—	25	103	40	255	92	89	87
3,85	248	—	25	102	39	249	89	87	84
3,90	241	—	24	102	38	240	87	84	82
3,95	235	—	23	101	37	235	84	82	80
4,00	229	—	22	100	36	228	82	80	78
4,05	223	—	21	99	35	222	80	78	76
4,10	217	—	20	98	34	217	78	76	74
4,15	212	—	19	97	34	213	76	74	72
4,20	207	—	18	95	33	208	74	72	70
4,25	201	—	16	94	32	201	72	70	68
4,30	197	—	15	93	31	197	71	69	67
4,35	192	—	14	92	30	192	69	67	65
4,40	187	—	13	91	30	186	67	65	64
4,45	183	—	11	90	29	183	66	64	62
4,50	179	—	10	90	29	178	64	62	61
4,55	174	—	9	89	28	174	62	61	59
4,60	170	—	7	88	28	171	61	60	58
4,65	167	—	6	87	27	166	60	59	57
4,70	163	—	4	86	27	162	59	57	55
4,75	159	—	3	85	26	159	57	56	54
4,80	156	—	2	84	26	155	56	55	53
4,85	152	—	—	83	25	152	55	53	52
4,90	149	—	—	82	24	149	54	52	51

Продолжение прил. 7

Диаметр отпечатка, мм	Число твердости по Бринеллю (шарик Ø 10 мм; нагрузка 30 000 Н)		Число твердости по Роквеллу		Число твердости по Шору	Число твердости по Виккерсу	Предел прочности при растяжении стали, МПа		
	Число твердости НВ		Шкала С HRC	Шкала В HRB			углеродистой	хромистой	никелевой и хромо-никелевой
	Стальной шарик	Твердосплавный шарик							
4,95	146	—	—	81	24	148	52	51	50
5,00	143	—	—	80	24	143	51	50	49
5,05	140	—	—	79	23	140	50	49	48
5,10	137	—	—	78	23	138	49	48	47
5,15	134	—	—	77	23	134	48	47	46
5,20	131	—	—	76	22	131	47	46	45
5,25	128	—	—	75	22	129	46	45	44
5,30	126	—	—	74	22	127	45	44	43
5,35	123	—	—	73	21	123	44	43	42
5,40	121	—	—	72	21	121	43	42	41
5,45	118	—	—	71	21	118	42	41	40
5,50	116	—	—	70	20	116	41	40	39
5,55	114	—	—	68	20	115	41	40	39
5,60	111	—	—	67	20	113	40	39	38
5,65	109	—	—	66	20	110	39	—	—
5,70	107	—	—	65	19	109	39	—	—
5,75	105	—	—	64	19	108	38	—	—
5,80	103	—	—	—	—	—	37	—	—
5,85	101	—	—	—	—	—	36	—	—
5,90	99	—	—	—	—	—	36	—	—
5,95	97	—	—	—	—	—	35	—	—
6,00	95	—	—	—	—	—	34	—	—
6,05	94	—	—	—	—	—	34	—	—
6,10	92	—	—	—	—	—	33	—	—
6,15	90	—	—	—	—	—	32	—	—
6,20	88	—	—	—	—	—	32	—	—
6,25	86	—	—	—	—	—	31	—	—
6,30	85	—	—	—	—	—	31	—	—
6,35	84	—	—	—	—	—	30	—	—
6,40	82	—	—	—	—	—	29	—	—
6,45	81	—	—	—	—	—	29	—	—
6,50	80	—	—	—	—	—	29	—	—
6,55	78	—	—	—	—	—	28	—	—
6,60	76	—	—	—	—	—	27	—	—

8. ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ (МИН⁻¹) ЗАГОТОВКИ ИЛИ ТОРЦОВОЙ ФРЕЗЫ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕЕ ДИАМЕТРА И СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ

D, мм	v, м/мин											
	5	10	15	20	40	60	80	100	150	200	300	400
5	318	636	956	1274	2548	3825	5095	6360	9560	12740	19120	25480
6	265	531	797	1060	2124	3185	4250	5300	7961	10615	15924	21230
7	228	455	683	910	1820	2730	3640	4550	6818	9091	13636	18182
8	200	400	597	796	1542	2390	3185	3980	5971	7962	11943	15923
9	177	354	530	708	1415	2120	2830	3540	5310	7080	10615	14150
10	159	318	478	637	1274	1910	2550	3185	4780	6370	9554	12740
11	145	289	434	578	1157	1735	2315	2890	4343	5790	8685	11580
12	133	265	398	530	1060	1590	2120	2650	3980	5310	7960	10615
13	123	245	367	490	980	1470	1960	2450	3675	4900	6824	9100
14	114	228	341	455	910	1365	1820	2270	3412	4550	6370	8490
15	106	212	318	424	848	1270	1695	2115	3185	4250	5970	7960
16	100	199	298	398	796	1195	1590	1990	2990	3980	5310	7080
18	89	177	265	354	708	1060	1415	1770	2654	3540	4777	6370
20	80	159	239	318	637	955	1274	1592	2390	3185	4246	5680
30	53	106	159	212	425	637	849	1062	1592	2123	2890	3885
40	40	80	119	159	318	478	637	796	1194	1592	2390	3185
50	32	64	96	127	255	382	510	637	955	1274	1911	2548
60	26	53	80	106	212	318	425	531	796	1062	1592	2123
70	23	46	68	91	182	273	364	455	682	910	1364	1818
80	19,9	40	60	80	159	239	318	398	597	796	1194	1592
90	17,7	35	53	71	142	212	283	354	531	798	1062	1415
100	15,9	32	48	64	127	191	255	318	478	637	955	1274
110	14,5	29	43	58	116	174	232	290	434	579	796	1160
120	13,3	27	40	53	106	159	212	265	398	531	796	1060
130	12,2	24	37	49	98	147	196	245	370	490	735	980
140	11,4	23	34	46	91	136	182	228	341	455	682	910
150	10,6	21	32	42	85	127	170	212	319	425	637	849
160	10,0	19,9	30	40	80	119	159	199	300	400	600	800

Продолжение прил. 8

D, мм	v, м/мин										
	500	600	700	800	900	1000	1250	1500	2000	2500	3000
5	31800	38250	44600	50950	57300	63600	79617	95600	124700	159236	191200
6	26540	31850	37155	42463	47770	53100	66350	79620	106160	132700	159240
7	22727	27273	31818	36364	40909	45455	56818	68182	90910	113636	136364
8	19900	23885	27870	31850	35830	39810	49761	59713	79620	99522	119430
9	17700	21230	24770	28310	31850	35385	44230	53100	70800	88464	106160
10	15923	19100	22300	25500	28662	31850	39810	47800	63700	79620	95540
11	14480	17370	20266	23160	26060	28952	36190	43430	57900	72380	86860
12	13270	15923	18580	21230	23890	26540	33174	39810	53100	66350	79620
13	12250	14700	17150	19600	22050	24500	30622	36750	49000	61240	73500
14	11374	13650	15924	18200	20470	22799	28435	34120	45500	56870	68244
15	10615	12740	14862	16990	19110	21230	26540	31850	42500	53080	63700
16	9952	11943	13933	15924	17914	19900	24880	29860	39810	49760	59710

D, мм	v, м/мин										
	500	600	700	800	900	1 000	1 250	1 500	2 000	2 500	3 000
18	8 846	10 615	12 385	14 154	15 294	17 700	22 116	26 540	35 386	44 232	53 080
20	7 962	9 550	11 146	12 740	14 330	15 920	19 900	23 900	31 850	39 810	47 770
30	5 310	6 370	7 430	8 500	9 554	10 615	13 270	15 923	21 230	26 540	31 850
40	3 980	4 777	5 573	6 370	7 165	7 962	9 952	11 940	15 924	19 900	23 890
50	3 185	3 822	4 460	5 095	5 732	6 370	7 962	9 554	12 740	15 923	19 110
60	2 654	3 185	3 715	4 246	4 777	5 310	6 635	7 962	10 616	13 270	15 924
70	2 273	2 727	3 182	3 636	4 091	4 545	5 682	6 818	9 091	11 364	13 636
80	1 990	2 389	2 787	3 185	3 583	3 981	4 976	5 971	7 962	9 952	11 943
90	1 770	2 123	2 480	2 830	3 185	3 540	4 423	5 310	7 080	8 860	10 616
100	1 592	1 910	2 230	2 550	2 866	3 185	3 980	4 780	6 370	7 962	9 554
110	1 450	1 737	2 027	2 316	2 610	2 895	3 620	4 343	5 790	7 240	8 690
120	1 327	1 592	1 860	2 123	2 390	2 654	3 317	3 981	5 310	6 635	7 962
130	1 225	1 470	1 715	1 960	2 205	2 450	3 062	3 675	4 900	6 124	7 350
140	1 137	1 365	1 592	1 820	2 047	2 270	2 844	3 412	4 550	5 690	6 824
150	1 062	1 274	1 490	1 700	1 910	2 123	2 654	3 185	4 250	5 310	6 370
160	1 000	1 200	1 390	1 600	1 800	2 000	2 500	2 990	3 980	4 980	5 971
170	940	1 124	1 311	1 500	1 690	1 873	2 342	2 810	3 750	4 683	5 620
180	890	1 062	1 240	1 415	1 592	1 770	2 210	2 654	3 540	4 423	5 310
190	840	1 005	1 173	1 340	1 509	1 680	2 100	2 514	3 352	4 190	5 030
200	800	955	1 115	1 274	1 433	1 592	1 990	2 390	3 185	3 981	4 780
225	708	850	991	1 132	1 274	1 415	1 770	2 123	2 831	3 540	4 246
250	640	764	892	1 020	1 146	1 274	1 592	1 910	2 548	3 185	3 822
275	580	695	810	926	1 042	1 158	1 450	1 737	2 316	2 900	3 474
300	531	640	743	850	955	1 062	1 327	1 592	2 123	2 654	3 185
325	490	588	686	784	882	980	1 224	1 470	1 960	2 450	2 940
350	455	546	640	728	820	910	1 137	1 365	1 820	2 275	2 730
375	425	510	594	680	764	850	1 062	1 274	1 700	2 123	2 548
400	398	478	557	637	716	796	995	1 194	1 592	1 990	2 390
425	375	450	525	600	674	750	937	1 124	1 500	1 873	2 250
450	354	425	495	566	640	708	885	1 062	1 415	1 770	2 123
475	335	402	470	536	603	670	840	1 006	1 341	1 680	2 011
500	318	382	446	510	573	637	796	955	1 274	1 600	1 910

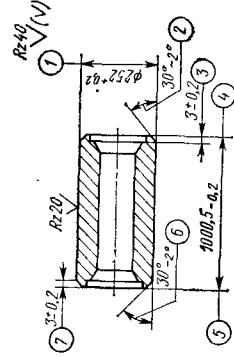
9. ИНФОРМАЦИОННЫЕ КАРТЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

В информационных картах механической обработки приняты следующие обозначения:
N — мощность электродвигателя главного привода станка, кВт;
n — частота вращения шпинделя, мин⁻¹;
n₂ — частота вращения заготовки, мин⁻¹;
v — скорость резания, м/мин;
v_ш — скорость шлифовального круга, м/с;
v₃ — скорость заготовки, м/мин;
S₀ — подача на оборот, мм/об;
S_м — подача минутная, мм/мин;
S_z — подача на один зуб фрезы, мм/зуб;

Н. св. — нет сведений.
t — глубина резания, мм;
i — число переходов;
t_{осн. обп} — основное технологическое время, мин;
t_{осн. обр} — основное технологическое время обработки всех перечисленных переходов, мин;
T — период стойкости инструмента, мин или шт. загот.;
z — число зубьев фрезы;

Точение прокатных валков

№	Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента	Режимы резания					СОЖ	<i>t_{осн}</i>	<i>T</i> , мин
			<i>n</i>	<i>v</i>	<i>S₀</i>	<i>S_м</i>	<i>i</i>			
1	Точение поверхности в размер Ø 253,1 мм на протяжении	Резец проходной специальной, оснащенный чеперь-мя круглыми пластнами из композита 05	90	72,8	0,3	36	2,4	1	28	56
	Оборудование	Станок токарно-винторезный 165								Эмуль-сол-32
	Изготавливаемая деталь	Бочка								
	Материал обрабатываемой заготовки, твердость	Цугун специальный, HB ≥ 540								



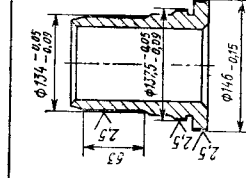
№	Содержание перехода (операция)	Вид режущего инструмента	Режим резания						СОЖ	t _{осн}	T, мин
			n	v	S ₀	S _ш	t	t			
2	Точение поверхности Ø 252 ^{+0,2} на проход	Резец проходной, оснащенный пластиной из композита 01	127	100,1	0,3	50,8	0,3	2	Эмульсол-Э2	39,4	
3	Подрезка правого торца 4 начисто	Резец подрезной правый, оснащенный пластиной из композита 05						1	Эмульсол-Э2	20	
4	Точение фаски в размеры 2 и 3	То же	90	72	0,2	18	1,5	2		0,4	
5	Подрезка левого торца 5 начисто	Резец подрезной левый, оснащенный пластиной из композита 05						1		20	
6	Точение фаски в размеры 6 и 7	То же	90	72	0,2	18	1,0	2	Эмульсол-Э2	0,4	

Технико-экономическая эффективность внедрения

Оборудование: то же. Материал режущей части инструмента: ВК-3 (1, 3, 4, 5, 6-й переходы), композит 10 (2-й переход).
 v = 60; S₀ = 0,4; t = 0,2; t_{осн} = 220; T = 132, мин (1-й переход); T = 36 мин (2-й переход).
 v = 8; S₀ = 0,1; t = 1,5; t_{осн. общ} = 50; T = 3 шт. (3, 4, 5, 6-й переходы).

Увеличилась производительность обработки на 300%. Повысилась стойкость инструмента в 2 раза (T = 132 мин).

Годовой экономический эффект 45 842 р.



№	Содержание перехода (операция)	Вид режущего инструмента	Режим резания						СОЖ	T, шт. загот.
			n	v	S ₀	S _ш	t	t		
1	Обтачивание чистовое диаметров, мм: 134 ^{-0,05}	Резец проходной, оснащенный круглой пластиной из композита 01 То же	350	151	0,16	56	1	1	—	200
2	137,5 ^{-0,05}			153						
3	146 ^{-0,15}			164						

263

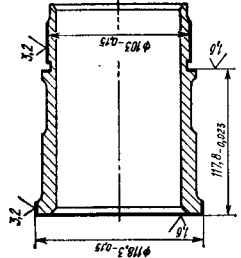
Технико-экономическая эффективность внедрения

Оборудование: то же. Материал режущей части инструмента: ВК-60.
 n = 350; v = 151; S₀ = 0,16; t = 1; t_{осн} = 1,12; T = 70 ... 80 шт. загот.

Повысилась стойкость инструмента в 2—3 раза.

Точение гильз цилиндров двигателя

Изготавливаемая деталь	Гильза автомобильного двигателя								
	Материал обработки, твердость	Чугун, НВ 230—250							
Оборудование, частота вращения шпинделя, мощность	Автомат отделочно-расточный ВС-400, $n = 850$, $N = 20$								
№ Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента	Режим резания					СОЖ	$t_{осн}$	Т. шт. загот.
		n	v	S_0	S_M	f			
1 Обтачивание посадочного пояса и юбки	Резцы, оснащенные пластинами из композита 01	270—320	0,1	85	0,25—0,35	1	15 %-ный водный раствор НГЛ-205	21	300 (33) — 150 (68)
2 Подрезка торцов	То же	850		0,25				13	300 (74)
3 Зачистка торца	»		300	0,05	0,1			25	800 (148)



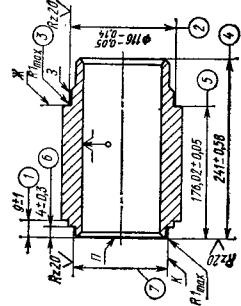
Технико-экономическая эффективность внедрения

Оборудование: то же. Материал режущей части инструмента: ВК2. $v = 125$; $t_{осн} = 77$; $T = 20$ шт. загот.

Увеличилась производительность обработки на 65 %. Стойкость резца повысилась в 3—5 раз.

Точение и подрезка торцов гильзы цилиндров двигателя

Изготавливаемая деталь	Цилиндр двигателя								
	Материал обработки, твердость, состояние поверхности перед обработкой	Чугун специальный серый, НВ 207—249, литейная корка							
Оборудование, частота вращения шпинделя, мощность	Полуавтомат токарный многорезцовый ИТ713, $n = 63 \dots 1250$, $n = 100 \dots 2000$, $N = 18,5$								
№ Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента	Режим резания					СОЖ	$t_{осн}$	Т. шт. загот.
		n	v	S_0	S_M	f			
1 Подрезка торца Л с выдержкой размеров 4 и 1	Резец (25×20×150), оснащенный пластиной из композита 01	800	301	0,0625	50	1		0,081	60 (740)
2 Подрезка торца Ж с выдержкой размера 5	Резец (25×20×150), оснащенный пластиной из композита 05		291			0,5			60 (740)



№	Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента	Режим резания					СОЖ	t _{осн}	T, мин (шт. загот.)
			n	v	S _ф	S _м	f			
3	Протачивание поверхности K до размера 7 с выдержкой размера 6	Резец (250×20×150), оснащенный пластиной из композита 05					0,7		0,038	60 (1580)
4	Протачивание поверхности 3 с выдержкой размера 2	То же	800	300	0,625	50	0,4	1	0,094	60 (630)

266

Элементы старой технологии

Технико-экономическая эффективность внедрения

Оборудование: полуавтомат токарный многорезцовый 1А730.

Материал режущей части инструмента: ВК6.

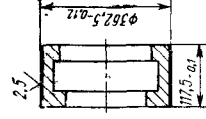
v = 55 ... 58; S₀ = 0,125; t = 0,5 ... 1; i = 1; t_{осн} = 0,91 (1-й переход); t_{осн} = 0,75 (2-й переход); T = 60 мин (66 шт. загот.) — 1-й переход; T = 60 мин (79 шт. загот.) — 2-й переход.

v = 55 ... 58; S₀ = 0,125; t = 0,4 ... 0,7; i = 1; t_{осн} = 0,91 (3-й переход); t_{осн} = 0,7 (4-й переход); T = 60 мин (66 шт. загот.) — 3-й переход. T = 60 мин (86 шт. загот.) — 4-й переход.

Увеличилась производительность обработки на 470 %. Многократно повысилась стойкость инструмента. Годовой экономический эффект 83 800 р.

Точение пуансона штампа

Изготавливаемая деталь	Пуансон	Режим резания					СОЖ	t _{осн}	T, мин
		n	v	S _ф	S _м	f			
Материал обрабатываемой заготовки, твердость, состояние поверхности перед обработкой	Сталь Х12М, НРС 56—58, поверхность обработана до Rz = 20 мкм	125	142	0,075	9,4	0,25	1	12,8	135
Оборудование, частота вращения шпинделя, мощность	Станок токарно-винторезный модели 16К20, N = 12,5								
Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента								
Точение Ø 362,5-0,18	Резец проходной, оснащенный пластиной из композита 01								



267

Элементы старой технологии

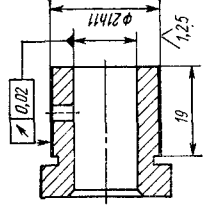
Технико-экономическая эффективность внедрения

Оборудование: станок круглошлифовальный универсальный модели 3А141. v_{шр} = 38; n_{зад} = 30; S₀ = 4; t = 0,01; t_{осн} = 45; T = 8 мин.

Увеличилась производительность обработки в 2,5 раза. Брак по прижогам исключился.

Точение втулки из специального порошкового сплава

Изготавливаемая деталь	Втулка		
Материал обрабатываемой заготовки, твердость	Сплав, НВ 60—120		
Оборудование, частота вращения шпинделя, мощность	Станок токарный специальный 1439-18, $n = 1600$, $N = 2$		
Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента	Режим резания	$T_{\text{мин}}$ (шт. загот.)
	Вид режущего инструмента	n v S_0 S_M f t СОЖ	
Точение наружной цилиндрической поверхности	Резец подрезной, оснащенный вставкой с режущей частью из композита	1600 90 0,1 160 1,0 1 —	420 (3000)
Элементы старой технологии			
Технико-экономическая эффективность внедрения			



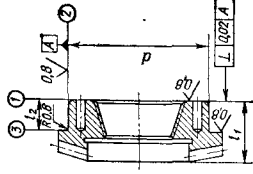
Оборудование: полуавтомат токарный специальный модели ПП-67-5, станок круглошлифовальный модели ЗБ153. Материал режущей части инструмента: ВК8 (при точении).
 Точение: $n = 900$; $v = 60$; $S_M = 0,35$; $f = 1,0$; $T = 170$ мин ($T = 1000$ шт. загот.)
 Точение и шлифование: $t_{\text{осн}} = 0,3$.

Увеличилась производительность обработки на 100 %.
 Повысилась стойкость реза в 3 раза.
 Годовой экономический эффект 12 000 р.

Обработка резьбового кольца сверлильного патрона

Изготавливаемая деталь	Кольцо резьбовое		
Материал обрабатываемой заготовки, твердость, состояние поверхности перед обработкой	Сталь 40X, HRC _s 50—54, окалина после термообработки, бленне до 0,1 мм		
Оборудование, частота вращения шпинделя, мощность	Автомат товарно-револьверный Бр-9, $n = 56 \dots 2500$; $n = 45 \dots 2000$; $n = 36 \dots 1000$; $N = 4,2 \dots 6,3$		
№ Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента	Режим резания	$T_{\text{мин}}$ (шт. загот.)
	Вид режущего инструмента	n v S_0 S_M f t СОЖ	
1 Подрезка торца	Резец проходной, оснащенный круглой пластинкой из композита 10	1000 94—119 0,125 125 0,4—1,0 1	0,033 Эмульсия 60 (1800)

№ чертёжа	l_1	d	l_2
ПСР-6	11	$26 \pm 0,081$ $\pm 0,046$	5
ПСР-10	11	$28 \pm 0,021$ $\pm 0,048$	5
ПСР-13	12	$36 \pm 0,099$ $\pm 0,060$	6



№	Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента	Режим резания					СОЖ	t _{осн}	T, мин (шт. загот.)
			n	v	S ₀	S _м	t			
2	Обтачивание поверхности 2	Резец проходной, оснащенный вставкой с режущей частью из композита 10	1000	119	0,067	67	0,3—0,4	1	Эмульсия	60 (50)
3	Подрезка торца 3	То же								

Элементы старой технологии

Технико-экономическая эффективность внедрения

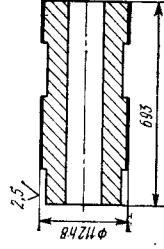
Оборудование: то же. Материал режущей части инструмента ВКЗМ.

1-й переход: v = 36; S₀ = 0,125; t = 0,4 ... 1,0; t ≠ 1; t_{осн} = 0,1; T = 30 мин (T = 300 шт. загот.).
 2-й и 3-й переходы: v = 39; S₀ = 0,067; t = 0,4; t = 1; t_{осн} = 0,384; T = 30 мин (T = 78 шт. загот.).

Увеличилась производительность обработки на 210 %.
 Годовой экономический эффект 87 110 р.

Точение гильз из конструкционной стали

Изготавливаемая деталь	Вид режущего инструмента	Режим резания					СОЖ	t _{осн}	T, шт. загот.
		n	v	S ₀	S _м	t			
Материал обрабатываемой заготовки, твердость	Гильза Сталь 45, НВ 240—280	1000	352	0,12	120	0,5	1	—	100
Оборудование, частота вращения шпинделя, мощность	Станок токарно-винторезный 16К20, N = 1600, N = 10								
Содержание перехода (операции)	Обтачивание наружное Ø 112 мм (L = 693 мм)								



Элементы старой технологии

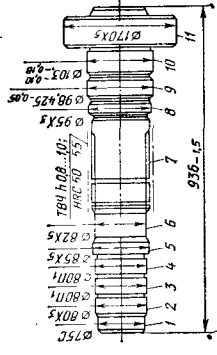
Технико-экономическая эффективность внедрения

Оборудование: то же. Материал режущей части инструмента: Т15К6.
 v = 110 ... 140; S₀ = 0,083; t = 0,5; t = 1; T = 50 шт. загот.

Увеличилась производительность обработки на 360 %.
 Увеличилась стойкость инструмента в 2 раза.
 Головой экономический эффект 8800 р. (по группе однотипных деталей).

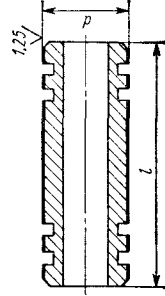
Продолжение прил. 9
Комплексное применение резцов из разных материалов при обработке шпинделя

Изготавливаемая деталь	Шпиндель станка 16К20								
	Материал обрабатываемой заготовки, твердость	Сталь 45 (ГОСТ 1050—71), НВ 207—220 Поверхностная закалка							
Оборудование, частота вращения шпинделя, мощность	Станок токарно-винторезный 16К20Ф3 с ЧПУ, $n = 30 \dots 1600$, $N = 10$								
№	Содержание перехода (операция)	Вид режущего инструмента	Режим резания					СОЖ	Процент загот.
			n	v	S_0	S_M	f		
1	Обработка фаски и канавки	Резец, оснащенный пластиной из ВСК-60	1000	300	0,3	300			180—200
2	Обтачивание поверхностей 1—6, 8, 9—11	То же	500—1000	150—300	0,3	150—300	Н. св.	1	80—100
3	Обтачивание шлицев 7	Резец, оснащенный пластиной из композита 10	500	150	0,2	100			10
4	Нарезка резьбы 5, 8	Резец, оснащенный пластиной из П15К6	800	240	2	1600	0,05	20	20
Элементы старой технологии									
Оборудование: станок круглошлифовальный универсальный 3140. $t_{осн} общ = 52,6$; $T = 50$ шт. загот.									



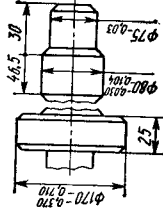
Продолжение прил. 9
Точение наружной поверхности гильзы

Изготавливаемая деталь	Гильза цилиндра									
	Материал обрабатываемой заготовки, твердость	Сталь 45 (ГОСТ 1050—74), НВ 175—220								
Оборудование, частота вращения шпинделя, мощность	Станок токарно-винторезный 16К20Ф3, класс точности — А, $n = 35 \dots 1600$, $N = 10$									
№	Содержание перехода (операция)	Вид режущего инструмента	Режим резания					СОЖ	$t_{осн}$	Т, мин
			n	v	S_0	S_M	f			
1	Обтачивание наружных: $\varnothing 80/8$ ($L = 441$ мм)	Резец подрезной сечением 16Х25, оснащенный пластиной из ВСК-60	1000	250					10	
2	$\varnothing 150/8$ ($L = 550$ мм)	То же		470	0,1	100	0,25	1	Эмульсия	480
3	$\varnothing 145/8$ ($L = 610$ мм)	»		465					8	
Элементы старой технологии										
Оборудование: станок круглошлифовальный 3Б161П. $t_{осн} = 15$ (1-й переход); $t_{осн} = 14$ (2-й переход); $t_{осн} = 12$ (3-й переход).										



Точение шпинделя станка 16К20

Изготавливаемая деталь	Шпиндель станка 16К20										
Материал обрабатываемой детали, твердость, состояние поверхности перед обработкой	Сталь 45 (ГОСТ 1050—74), HRC 38—42 (после термообработки), окалина										
Оборудование, частота вращения шпинделя, мощность	Станок токарно-винторезный 16К20ФЗС5 с ЧПУ, $n = 1600$, $N = 10$										
Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента					Режим резания					
	n	v	S_0	S_M	t	f	СОЖ			$t_{\text{осн}}$	$T_{\text{мнв}}$ (шт. загот.)
Точение хвостовика шпинделя	650	350	0,18	117	0,5	1	—			0,85	31 (37)



Элементы старой технологии

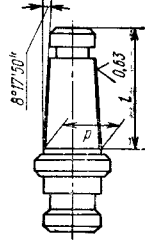
Технико-экономическая эффективность внедрения

Оборудование: то же. Материал режущей части инструмента: Т15К6. $v = 80$; $S_0 = 0,18$; $t = 0,5$; $i = 1$; $t_{\text{осн}} = 3,4$; $T = 17$ мин ($T = 5$ шт. загот.).

Увеличилась производительность обработки на 300 %. Годовой экономический эффект 20—25 р. на резец. Повысилась стойкость резца в 7 раз.

Точение конической поверхности закаленной детали

Изготавливаемая деталь	Цанга $\varnothing 40$ и 60 мм											
Материал обрабатываемой детали, твердость, состояние поверхности перед обработкой	Сталь 60С2А (ГОСТ 14959—79); сталь 18ХГТ (ГОСТ 4543—71), HRC 53—57											
Оборудование, частота вращения шпинделя, мощность	Станок токарно-винторезный 16К20, $n = 12,5 \dots 1600$, $N = 10$											
№ Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента					Режим резания						
	n	v	S_0	S_M	t	f	СОЖ			$t_{\text{осн}}$	$T_{\text{шт. загот.}}$	
1 Протачивание конуса у корпусов: $\varnothing 40,7$ мм ($t = 94$ мм)	Резец проходной, оснащенный пластиной ВOK-60					То же						
2 $\varnothing 70,3$ мм ($t = 127$ мм)	1200	200	0,3—0,4	360—480	0,3	1	—			0,3	2500	



Элементы старой технологии

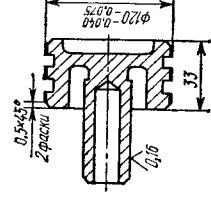
Технико-экономическая эффективность внедрения

Оборудование: то же. Материал режущей части инструмента: Т15К6. $n = 1200$; $v = 153$; $S_0 = 0,3$; $t = 1$; $T = 20$ шт. загот.

Увеличилась производительность обработки на 110 %. Многократно повысилась стойкость резца. Щероковатость обработанной поверхности снизилась. Годовой экономический эффект 28 р. на один комплект.

Точение рабочей поверхности поршня

Изготавливаемая деталь	Поршень усилителя																		
Материал обрабатываемой заготовки, твердость	Сталь 45 (ГОСТ 1050—74), HRC 36—40																		
Оборудование	Станок токарно-винторезный 163																		
Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента																		
Точение продольное $\varnothing 120^{+0,040}_{-0,075}$	<table border="1"> <tr> <th colspan="4">Режим резания</th> <th rowspan="2">СОЖ</th> <th rowspan="2">$t_{\text{осн}}$</th> <th rowspan="2">T, шт. загот.</th> </tr> <tr> <th>n</th> <th>v</th> <th>S₀</th> <th>f</th> </tr> <tr> <td>800</td> <td>302</td> <td>0,073</td> <td>58,4</td> <td>0,2</td> <td>1</td> <td>25</td> </tr> </table>	Режим резания				СОЖ	$t_{\text{осн}}$	T, шт. загот.	n	v	S ₀	f	800	302	0,073	58,4	0,2	1	25
Режим резания				СОЖ	$t_{\text{осн}}$				T, шт. загот.										
n	v	S ₀	f																
800	302	0,073	58,4	0,2	1	25													



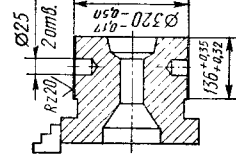
Элементы старой технологии

Технико-экономическая эффективность внедрения

Оборудование: то же. Материал режущей части инструмента: Т15К6, $v = 75,4$; $S_0 = 0,073$; $f = 0,2$; $t = 1$; $t_{\text{осн}} = 2,26$; $T = 29$ мин ($T = 12$ шт. загот.).
 Увеличилась производительность обработки на 180 %.

Точение с уларом цилиндрической поверхности

Изготавливаемая деталь	Штамп верхний																		
Материал обрабатываемой детали, твердость	Сталь 5ХНМ (ГОСТ 5950—73), HRC 39—44																		
Оборудование	Станок токарный специальный ТТ1912																		
Содержание перехода (операция)	Вид режущего инструмента																		
Обтачивание $\varnothing 320^{+0,17}_{-0,50}$	<table border="1"> <tr> <th colspan="4">Режим резания</th> <th rowspan="2">СОЖ</th> <th rowspan="2">$t_{\text{осн}}$</th> <th rowspan="2">T, мин (шт. загот.)</th> </tr> <tr> <th>n</th> <th>v</th> <th>S₀</th> <th>f</th> </tr> <tr> <td>200</td> <td>210</td> <td>0,1</td> <td>20</td> <td>0,3</td> <td>1</td> <td>68 (10)</td> </tr> </table>	Режим резания				СОЖ	$t_{\text{осн}}$	T, мин (шт. загот.)	n	v	S ₀	f	200	210	0,1	20	0,3	1	68 (10)
Режим резания				СОЖ	$t_{\text{осн}}$				T, мин (шт. загот.)										
n	v	S ₀	f																
200	210	0,1	20	0,3	1	68 (10)													



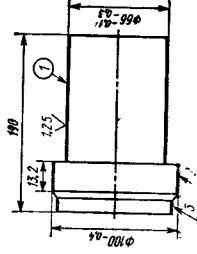
Элементы старой технологии

Технико-экономическая эффективность внедрения

Оборудование: то же. Материал режущей части инструмента: Т15К6, $n = 400$; $v = 43$; $S_0 = 0,15$; $f = 0,3$; $t_{\text{осн}} = 21$; $T = 52$ мин ($T = 2$ шт. загот.).
 Увеличилась производительность обработки на 200 %. Шероховатость обработанной поверхности снизилась. Годовой экономический эффект 20—25 р. на один комплект. Увеличилась стойкость резца в 5 раз.

Точение коллекторной втулки

Изготавливаемая деталь	Коллекторная втулка																		
Материал обрабатываемой заготовки, твердость, состояние поверхности перед обработкой	Сталь 30ХГСА, НРС 34—38, окалина																		
Оборудование, частота вращения шпинделя, мощность	Станок токарно-винторезный с ЧПУ модели 16К2Ф3С1, $n = 2000$, $N = 10$																		
Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента																		
Протачивание поверхностей 1—3	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Режим резания</th> <th rowspan="2">СОЖ</th> <th rowspan="2">$t_{осн}$</th> <th rowspan="2">Т, шт. загот.</th> </tr> <tr> <th>n</th> <th>v</th> <th>S_m</th> <th>t</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1000</td> <td>300</td> <td>0,4</td> <td>400</td> <td>—</td> <td>0,5</td> <td>120</td> </tr> </tbody> </table>	Режим резания				СОЖ	$t_{осн}$	Т, шт. загот.	n	v	S_m	t	1000	300	0,4	400	—	0,5	120
Режим резания				СОЖ	$t_{осн}$				Т, шт. загот.										
n	v	S_m	t																
1000	300	0,4	400	—	0,5	120													



Элементы старой технологии

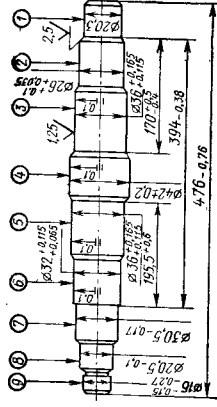
Технико-экономическая эффективность внедрения

Оборудование: станок круглошлифовальный универсальный модели 3А130.
 $v_s = 27$, $S_m = 272$; $t_{осн} = 1,4$; $T = 60$ шт. загот.

Увеличилась производительность обработки на 150%.
 Снизилась шероховатость обработанной поверхности с $Ra = 1,25$ мкм до $Ra = 0,63$ мкм.
 Годовой экономический эффект 20 000 р.

Точение шеек вала взамен шлифования

Изготавливаемая деталь	Вал																		
Материал обрабатываемой заготовки, твердость, состояние поверхности перед обработкой	Сталь 30ХГСА, НРС 34—38, окалина																		
Оборудование, частота вращения шпинделя, мощность	Станок токарно-винторезный 1К62Ф3С1 с ЧПУ, $n = 2000$, $N = 10$																		
Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента																		
1 Протачивание верхностей 1—4	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Режим резания</th> <th rowspan="2">СОЖ</th> <th rowspan="2">$t_{осн}$</th> <th rowspan="2">Т, шт. загот.</th> </tr> <tr> <th>n</th> <th>v</th> <th>S_m</th> <th>t</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1250</td> <td>170</td> <td>0,3</td> <td>375</td> <td>—</td> <td>1,5</td> <td>120</td> </tr> </tbody> </table>	Режим резания				СОЖ	$t_{осн}$	Т, шт. загот.	n	v	S_m	t	1250	170	0,3	375	—	1,5	120
Режим резания				СОЖ	$t_{осн}$				Т, шт. загот.										
n	v	S_m	t																
1250	170	0,3	375	—	1,5	120													
2 Протачивание верхностей 5—9 и фасок	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Режим резания</th> <th rowspan="2">СОЖ</th> <th rowspan="2">$t_{осн}$</th> <th rowspan="2">Т, шт. загот.</th> </tr> <tr> <th>n</th> <th>v</th> <th>S_m</th> <th>t</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1250</td> <td>170</td> <td>0,3</td> <td>375</td> <td>—</td> <td>1,5</td> <td>120</td> </tr> </tbody> </table>	Режим резания				СОЖ	$t_{осн}$	Т, шт. загот.	n	v	S_m	t	1250	170	0,3	375	—	1,5	120
Режим резания				СОЖ	$t_{осн}$				Т, шт. загот.										
n	v	S_m	t																
1250	170	0,3	375	—	1,5	120													



Элементы старой технологии

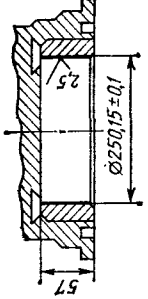
Технико-экономическая эффективность внедрения

Оборудование: станок круглошлифовальный 3Б153У.
 $v_s = 25$; $S_m = 470$; $t_{осн} = 11$; $T = 60$ шт. загот.

Увеличилась производительность обработки на 450%.
 Снизилась шероховатость обработанной поверхности с $Ra = 1,25$ мкм до $Ra = 0,63$ мкм.
 Годовой экономический эффект 20 000 р.

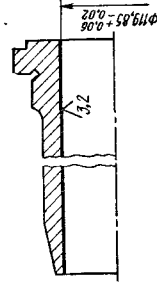
Растачивание барабана тормоза

Изготавливаемая деталь	Барабан тормоза задний									
Материал обрабатываемой заготовки, твердость	Чугун, НВ 190—240									
Оборудование	Автоматическая линия фирмы «Морандо» (Италия)									
Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента	Режим резания	СОЖ	t _{осн}	T, шт. загот.					
		n				v	S _с	S _м	f	f
Растачивание обода тормоза окончательное	Резец, оснащенный круглой пластиной из композита 01	500	396	0,29	145	0,25	1	Укри-нол-1	0,39	250
Элементы старой технологии		Технико-экономическая эффективность внедрения								
Оборудование: то же. Материал режущей части инструмента: керамика В-3. Режим резания: тот же; t _{осн} то же, T = 50 шт. загот.		Повысилась стойкость инструмента в 5 раз.								



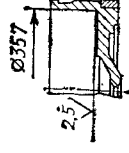
Растачивание закаленной гильзы цилиндров

Изготавливаемая деталь	Гильза цилиндра									
Материал обрабатываемой заготовки, твердость	Чугун специальный, HRC 45—50									
Оборудование, частота вращения шпинделя	Станок отделочно-расточный вертикальный 2777В, n = 1000									
Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента	Режим резания	СОЖ	t _{осн}	T, шт. загот.					
		n				v	S _с	S _м	f	f
Растачивание отверстия	Головка расточная регулируемая многозубая, оснащенная композитом 01	1000	370	0,2	200	0,6	3	4 %-ный раствор Укрино-ла-1 в воде	0,32	50
Элементы старой технологии		Технико-экономическая эффективность внедрения								
Оборудование: станок XLO (США). Режущий инструмент: расточная головка с керамикой. v = 270; t _{осн} = 0,58; T = 35 шт. загот.		Увеличилась производительность обработки на 70 %. Повысилась стойкость инструмента в 1,5 раза. Точность обработки возросла в 2 раза. Годовой экономический эффект 1 200 р. на одну головку.								



Подрезка торца маховика большогогрузного автомобиля

Изготавливаемая деталь	Маховик	Режим резания		СОЖ	t _{осн}	T, шт. загот.
Материал обрабатываемой заготовки, твердость	Чугун СЧ 21, НВ 200—241	196	220	41,16	0,35	1
Оборудование	Автоматическая линия фирмы «Морандо» (Италия)					
Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента					
Подрезка торца чистой	Резец проходной, оснащенный круглой пластиной из композита 01					200
Элементы старой технологии						
Оборудование: то же. Материал режущей части инструмента: керамика ВСК-60. Режим резания: тот же; t _{осн} то же; T = 10 шт. загот.						

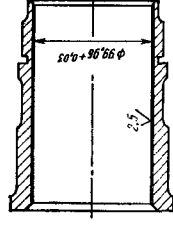


Технико-экономическая эффективность внедрения

Повысилась стойкость инструмента в 20 раз.

Растачивание гильзы из специального чугуна

Изготавливаемая деталь	Гильза автомобильного двигателя	Режим резания		СОЖ	t _{осн}	T, шт. загот.
Материал обрабатываемой заготовки, твердость	Чугун, НВ 230—250	1500	420	0,1 0,08	0,4 0,1	1
Оборудование, частота вращения шпинделя	Станок отделочно-расточный вертикальный 2777В, станок алмазно-расточный ОС-6352, n = 1500					
Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента					
1	Растачивание отверстия полушестовое					
2	Растачивание отверстия чистовое					
Элементы старой технологии						
Оборудование: станок алмазно-расточный ОС-6352. Материал режущей части инструмента: твердый сплав ВК2 v = 125; T = 10 шт. загот.						

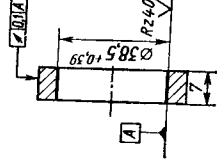


Технико-экономическая эффективность внедрения

Увеличилась производительность обработки на 65 %.
Повысилась стойкость инструмента в 4 раза.

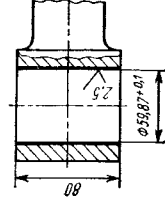
Растачивание седла клапана

Изготавливаемая деталь	Седло клапана	
Материал обрабатываемой детали, твердость, состояние поверхности перед обработкой	Чугун специальный, HRC 42—46, окалина после термообработки	
	Оборудование, частота вращения шпинделя, мощность	
Полуавтомат токарный DAMF-6/160, $n = 100 \dots$, 1400, $N = 12$		
Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента	
Растачивание отверстия	Резец расточный, оснащенный круглой пластиной из композита 01 ($l = 200$ см. $\varnothing 25$ мм)	
Элементы старой технологии		
<p>Оборудование: станки внутришлифовальные 3А228, 3А240, 3А227, 3К227В. Режущий инструмент: круг шлифовальный ПП 35×40×10, Э5 50СТ3К5. $v_{кр} = 33$; $S_{пол} = 0,06$; $i = 42$; $t_{осн} = 0,396$; $T = 16$ мин ($T = 40$ шт. загот.).</p>		
Технико-экономическая эффективность внедрения		
<p>Увеличилась производительность обработки на 600 %. Годовой экономический эффект 57 500 р.</p>		
Режим резания		T , мин (шт. загот.)
n	v S_0 S_m t i	$t_{осн}$
1400	170 0,1 140 0,25 1	0,054
СОЖ		60 (1100)
Эмульсия		



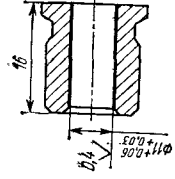
Растачивание взамен планетарного шлифования

Изготавливаемая деталь	Полуось внутренняя	
Материал обрабатываемой заготовки, твердость	Сталь 12Х2Н4А, HRC 58—62	
	Оборудование	
Станок алмазно-расточный АДВ-4		
Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента	
Растачивание отверстия	Вставка резцовая, оснащенная композитом 10	
Элементы старой технологии		
<p>Производительность обработки увеличилась в 3 раза (по сравнению с планетарным шлифованием).</p>		
Режим резания		T , шт. загот.
n	v S_0 S_m t i	$t_{осн}$
530	100 0,23 121,9 0,3 1	0,65
СОЖ		48
ЭГТ		



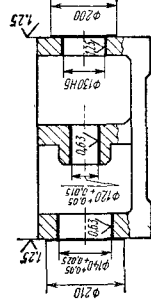
Высокоскоростное отдельное растачивание отверстий малого диаметра

Обрабатываемая заготовка	Седло клапана																		
Материал обрабатываемой заготовки, твердость	Сталь 45X, HRC 45—50																		
Оборудование	Станок алмазно-расточный трехшпиндельный 2A715																		
Содержание перехода (операция)	Вид режущего инструмента																		
Растачивание отверстия $\varnothing 11_{+0,08}^{0,06}$	<table border="1"> <tr> <th colspan="4">Режим резания</th> <th rowspan="2">СОЖ</th> <th rowspan="2">$t_{осн}$</th> <th rowspan="2">Г, шт. загот.</th> </tr> <tr> <th>n</th> <th>v</th> <th>S_m</th> <th>f</th> </tr> <tr> <td>1900</td> <td>66</td> <td>0,06</td> <td>114</td> <td>0,1—0,2</td> <td>2</td> <td>600</td> </tr> </table>	Режим резания				СОЖ	$t_{осн}$	Г, шт. загот.	n	v	S _m	f	1900	66	0,06	114	0,1—0,2	2	600
Режим резания				СОЖ	$t_{осн}$				Г, шт. загот.										
n	v	S _m	f																
1900	66	0,06	114	0,1—0,2	2	600													
Элементы старой технологии			Технико-экономическая эффективность внедрения																
Оборудование: станок шлифовальный			Увеличилась производительность обработки на 120%. Высвобождено два шлифовальных станка. Повысилось качество обработки.																

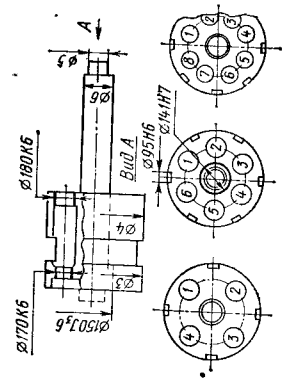


Растачивание отверстий высокой точности

Изготавливаемая деталь	Корпус шпиндельной бабки																				
Материал обрабатываемой заготовки, твердость	Чугун СЧ 20 (ГОСТ 1412—79), HB 155																				
Оборудование	Станок специальный ВС-539																				
№	Содержание перехода (операция)	Вид режущего инструмента	<table border="1"> <tr> <th colspan="4">Режим резания</th> <th rowspan="2">СОЖ</th> <th rowspan="2">$t_{осн}$</th> <th rowspan="2">Г, шт. загот.</th> </tr> <tr> <th>n</th> <th>v</th> <th>S_m</th> <th>f</th> </tr> <tr> <td>730</td> <td>320</td> <td>0,04</td> <td>30</td> <td>0,25</td> <td>1</td> <td>40</td> </tr> </table>	Режим резания				СОЖ	$t_{осн}$	Г, шт. загот.	n	v	S _m	f	730	320	0,04	30	0,25	1	40
Режим резания				СОЖ	$t_{осн}$	Г, шт. загот.															
n	v	S _m	f																		
730	320	0,04	30	0,25	1	40															
1	Растачивание оси чистовое	Резец, оснащенный вставкой ($\varnothing 8 \times 20$) с режущей частью из композита 01																			
2	Подрезка торцов	То же																			
Элементы старой технологии			Технико-экономическая эффективность внедрения																		
Оборудование: станок горизонтально-расточный 2A620			Увеличилась производительность обработки на 60%.																		
Материал режущей части инструмента: ВК8.																					



Растачивание отверстий высокой точности

Изготавливаемая деталь	Шпиндельный барабан	Режим резания										СОЖ	t _{осн}	T, мин
		п	v	S ₀	S _м	f	t							
Материал обрабатываемой заготовки, твердость, состояние поверхности перед обработкой	Чугун СЧ 32, НВ 187—255. Выполнена полустовая обработка поверхности													
Оборудование, частота вращения шпинделя, мощность	Станки алмазно-расточные ОС-6102А, ОС-4741, ОС-6243, n = 240 ... 850, N = 4													
№	Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента	Режим резания					СОЖ	t _{осн}	T, мин				
1	Алмазное растачивание отверстий предварительное	Резец специальный (Ø 16×32), оснащенный вставкой с режущей частью из композита 01 или 10	240—850	200—220	0,02—0,04	4,8—34	0,9	2	25,4	240				
2	Алмазное растачивание окончательное						Эмульсия	114,4						

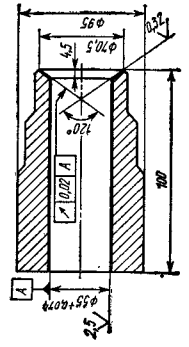
Элементы старой технологии

Технико-экономическая эффективность внедрения

Оборудование: станок алмазно-расточный ОС-831. Материал режущей части инструмента: ВК-3М. v = 120; S₀ = 0,01 ... 0,04.

Увеличилась производительность обработки на 60 %. Шероховатость обработанной поверхности снизилась.

Растачивание стали с высоким содержанием хрома

Изготавливаемая деталь	Седло клапана	Режим резания										СОЖ	t _{осн}	T, мин
		п	v	S ₀	S _м	f	t							
Материал обрабатываемой заготовки, твердость	Сталь 2Х13 (ГОСТ 5632—72), HRC 46													
Оборудование, частота вращения шпинделя, мощность	Станок токарно-винторезный 16К20, n = 12,5 ... 1600, N = 12,5													
№	Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента	Режим резания					СОЖ	t _{осн}	T, мин				
1	Растачивание отверстия Ø 55 ^{+0,074}	Резец специальный, оснащенный пластиной из композита 01	630	108	0,175—0,125	110,3—78,8	2,0—0,5	—	1,92	20				
2	Растачивание фаски 4,5×120°	То же			0,10—0,09	63—56,7	1,0—0,5							

Элементы старой технологии

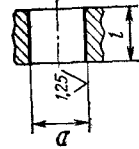
Технико-экономическая эффективность внедрения

Оборудование: 1-й переход — станок внутришлифовальный; 2-й переход — станок токарно-винторезный модели 1К62. Режущий инструмент: круг ПП 35×50×10 (1-й переход); материал режущей части инструмента: Т15К6 (2-й переход); v₂ = 40; S_м = 5690 (1-й переход); v = 108; S₀ = 0,14 (2-й переход); t_{осн} = 8,26.

Увеличилась производительность обработки на 330 %. Выполнена концентрация операций, повысилось качество обработки.

Растачивание точных отверстий

Иготовляемая деталь	Корпус бабки пильного диска	Режим резания						СОЖ	t _{осв}	T, мин	
		n	v	S ₀	S _M	f	i				
Материал обрабатываемой заготовки, твердость	Чугун СЧ 20 (ГОСТ 1412-79), HB 170-220										
Оборудование, частота вращения шпинделя, мощность	Станок отделочно-расточный ОС-9458, n = 450 ... 1055, N = 2,2										
№	Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента	Режим резания						СОЖ	t _{осв}	T, мин
	Растачивание отверстий диаметром D, мм:	Вставка резцовая, осевая компонента 01									
1	130H7 (l = 125 мм)	То же	665	271,5	0,045						
2	110H7 (l = 85 мм)	»	851	294	0,035						
3	90H7 (l = 85 мм)	»	1055	298,3	0,028	30	0,3	1		350	
4	150H7 (l = 100 мм)	»	600	271	0,045						
5	90H7 (l = 30 мм)	»	900	256	0,033						



Элементы старой технологии

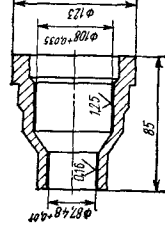
Технико-экономическая эффективность внедрения

Оборудование: станок специальный 8МП664.
Режущий инструмент: развертка или раскатка.
t_{осв} = 55; T = 55 мин.

Увеличилась производительность обработки на 150%.
Геометрическая точность обработанных отверстий улучшилась.
Трудоемкость обработки снизилась на 1300 нормо-ч.

Растачивание отверстий с высокими требованиями к шероховатости поверхности

Иготовляемая деталь	Пуансон-матрица	Режим резания						СОЖ	t _{осв}	T, мин	
		n	v	S ₀	S _M	f	i				
Материал обрабатываемой заготовки, твердость	Сталь Х12М (ГОСТ 4543-71), HRC 56-60										
Оборудование, частота вращения шпинделя	Станок токарно-винторезный 1К62, n = 12,5 ... 1600										
№	Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента	Режим резания						СОЖ	t _{осв}	T, мин
1	Растачивание отверстия Ø 108 ^{+0,035}	Резец расточный (25×25×150), оснащенный пластиной из композита 10	250	85	0,04	10	0,5	1		20	
2	Растачивание отверстия Ø 87,48 ^{+0,01}	То же	315	87		12,6					



Элементы старой технологии

Технико-экономическая эффективность внедрения

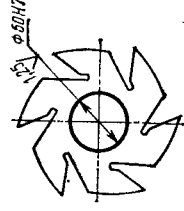
Оборудование: станок внутришлифовальный универсальный 3А228П. Режущий инструмент: круг ПП 63Х32Х32.
v_ж = 40; S_M = 3060; t_{осв} = 24,2.

Увеличилась производительность обработки на 300%.

Растачивание посадочного отверстия фрез

Продолжение прил. 9

Изготавливаемая деталь	Фрезы заточенные (ГОСТ 13235—79, ГОСТ 22749—77, ГОСТ 21843—76)
Материал обрабатываемой заготовки, твердость	Сталь Х6ВФ (ГОСТ 4543—71), HRC 56—60
Оборудование, частота вращения шпинделя, мощность	Станок токарно-винторезный 16К20, $n = 12,5 \dots$ 1600, $N = 10$



Торцовое биение опорных поверхностей — не более 0,03 мм

Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента	Режим резания					СОЖ	$t_{осн}$	Т, шт. загот.
		n	v	S_0	S_M	t			
Растачивание отверстия $\varnothing 60H7$	Резец расточный специальный, оснащенный вставкой с режущей частью из композита 10	630	120	0,06	38	0,25	1	1,0	240

Элементы старой технологии

Технико-экономическая эффективность внедрения

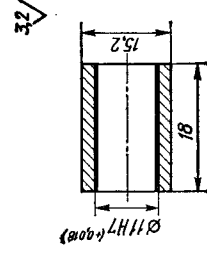
Оборудование: станок внутришлифовальный модели 3А227. Режущий инструмент: круг ПП 60Х40Х16. $S_0 = 0,002$; $S_M = 4800$; $t_{осн} = 1,7$.

Увеличилась производительность обработки на 60 %.
Годовой экономический эффект 11,5 р. на резец.

Растачивание отверстия в специальной керамике

Продолжение прил. 9

Изготавливаемая деталь	Втулка
Материал обрабатываемой заготовки, твердость, состояние поверхности перед обработкой	Керамика ЛМК-60 (ТУ 16-538-148—77), HВ 120—140, корка
Оборудование, частота вращения шпинделя, мощность	Станок токарный 1В320, $n = 38 \dots 2000$, $N = 3$
Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента
Растачивание отверстия $\varnothing 11H7^{+0,018}$	Резец ($\varnothing 10 \times 25$), оснащенный композитом 10



293

Технико-экономическая эффективность внедрения — новое производство

Приложения

Обработка отверстий в специальном углепластике

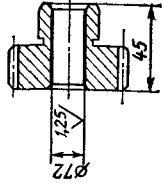
Обрабатываемая заготовка	Двухслойные листы				Т, шт. загот.				
Материал обрабатываемой заготовки	Углепластик КМУ-4Л								
Оборудование, частота вращения	Пневмодрель ручная СМ-21-9-2500, n = 2500								
Содержание перехода (операцин)	Вид режущего инструмента		Режим резания		t _{осн}				
Зенкование отверстий до Ø 7,4 мм	Зенковка с режущим элементом из композита 05	n	v	S ₀		S _M	t	СОЖ	
Элементы старой технологии	Элементы старой технологии		2500	55	—	1,7	—	Н. св.	200
Технико-экономическая эффективность внедрения									
Оборудование: то же. Режущий инструмент: зенковка твердосплавная.									
Отклонение углепластика отсутствует за счет повышения стойкости инструмента в 20 ... 30 раз. Годовой экономический эффект 158 600 р.									

Растачивание легированной стали

Изготавливаемая деталь	Щека				Т, шт. загот.				
Материал обрабатываемой заготовки, твердость	Сталь 35ХГСАЛ (ГОСТ 977-75), НВ 217								
Оборудование, частота вращения шпинделя, мощность	Станок отделочно-расточный 2706П0С7123, n = 1205 ... 5000, N = 2,2								
Содержание перехода (операцин)	Вид режущего инструмента		Режим резания		t _{осн}				
Растачивание отверстия Ø 50+0,025	Резец, оснащенный четырехгранной пластиной из В0К-60	n	v	S ₀		S _M	t	СОЖ	
Элементы старой технологии	Элементы старой технологии		1050	160	0,07	73,5	0,451	—	240
Технико-экономическая эффективность внедрения									
Оборудование: то же. Материал режущей части инструмента: Т30К4. t _{осн} = 2,8; T = 80 шт. загот.									
Увеличилась производительность обработки в 1,7 раза. Щероховатость обработанной поверхности снизилась. Годовой экономический эффект 1300 р.									

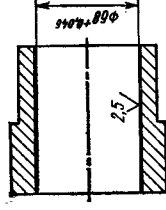
Растачивание посадочного отверстия шестерни

Изготавливаемая деталь	Шестерня															
Материал обрабатываемой заготовки	Сталь 40X															
Оборудование, частота вращения шпинделя, мощность	Станок токарно-винторезный 16К20Ф3С5 с ЧПУ, $n = 1600$, $N = 10$															
Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента	Режим резания	СОЖ	$t_{осн}$	Т, шт. загот.											
	Растачивание предварительное	<table border="1"> <tr> <td>n</td> <td>v</td> <td>S_0</td> <td>S_m</td> <td>f</td> <td>f</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>226</td> <td>0,25</td> <td>250</td> <td>1,3</td> <td>1</td> </tr> </table>				n	v	S_0	S_m	f	f	1000	226	0,25	250	1,3
n	v	S_0	S_m	f	f											
1000	226	0,25	250	1,3	1											
Элементы старой технологии																
<p>Оборудование: станок внутришлифовальный универсальный модели 3А228. $f = 0,2 \dots 0,4$; $t_{осн} = 4,5$; $T = 70$ шт. загот. Увеличилась производительность обработки на 800 %. Годовой экономический эффект 28 р. на один комплект.</p>																



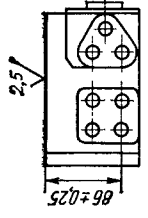
Растачивание автоматной стали

Изготавливаемая деталь	Втулка															
Материал обрабатываемой заготовки	Сталь А10 (ГОСТ 8731—65)															
Оборудование, частота вращения шпинделя, мощность	Станок токарно-винторезный модели SV 18RA, $n = 12,5 \dots 1600$, $N = 6,0$															
Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента	Режим резания	СОЖ	$t_{осн}$	Т, шт. загот.											
	Растачивание отверстия $\varnothing 68^{+0,046}$	<table border="1"> <tr> <td>n</td> <td>v</td> <td>S_0</td> <td>S_m</td> <td>f</td> <td>f</td> </tr> <tr> <td>1600</td> <td>342</td> <td>0,07</td> <td>112</td> <td>0,35</td> <td>1</td> </tr> </table>				n	v	S_0	S_m	f	f	1600	342	0,07	112	0,35
n	v	S_0	S_m	f	f											
1600	342	0,07	112	0,35	1											
Элементы старой технологии																
<p>Оборудование: то же. Материал режущей части инструмента: Т15К6. $t_{осн} = 5,2$; $T = 120$ шт. загот. Увеличилась производительность обработки в 3 раза. Шероховатость обработанной поверхности снизилась. Годовой экономический эффект 350 р. на комплект резца.</p>																



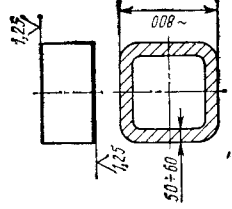
Фрезерование привалочной плоскости корпусной детали

Изготавливаемая деталь	Корпус распределителя										
Материал обрабатываемой заготовки, твердость	Чугун СЧ 21 (ГОСТ 1412—79), HB 200—240										
Оборудование	Станок вертикально-фрезерный,строенный в автоматическую линию										
Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента	Режим резания					СОЖ	t _{осн}	T, шт. загот.		
		n	v	S ₀	S _м	t					
Фрезерование плоскости разъема	Фреза ступенчатая Ø 160 мм, оснащенная круглыми пластинами Ø 7 мм из композита 05	912	458	0,043	700	1—2	1	Эмульсия	0,25	1500	
Элементы старой технологии											
Технико-экономическая эффективность внедрения											
Оборудование: станок карусельно-шлифовальный МЗ56.											
Увеличилась производительность обработки на 80 %. Высвобождено два станка.											

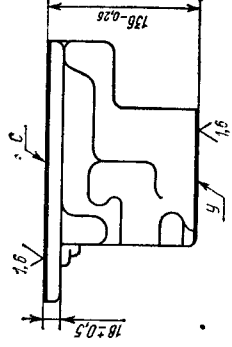


Фрезерование привалочной плоскости коробки скоростей трактора

Изготавливаемая деталь	Корпус коробки скоростей										
Материал обрабатываемой заготовки, твердость	Чугун СЧ 21 (ГОСТ 1412—79), HB 220—269										
Оборудование	Многоцелевые станки МСМ 13Х20 (японская фирма «Окума») и ВТН-13А (японская фирма «Тосиба»)										
Содержание перехода (операция)	Вид режущего инструмента	Режим резания					СОЖ	t _{осн}	T, шт. загот.		
		n	v	S ₂	S _м	t					
Фрезерование привалочных поверхностей	Фреза ступенчатая Ø 160 мм, оснащенная пластинами из композита 05	1250	630	0,06	1250	3—5	1	—	3	45	
Элементы старой технологии											
Технико-экономическая эффективность внедрения											
Оборудование: то же. Режущий инструмент: фреза Р2622-160 (фирма «Сандвик Коромант») v = 100 ... 150; S _м = 250 ... 350; t = 1 ... 5; t _{осн} = 10, T = 19 шт. загот.											
Увеличилась производительность обработки на 200 %. Шероховатость обработанной поверхности снизилась в 1,5 раза. Произведена замена импортного инструмента.											



Изготавливаемая деталь	Корпус распределителя																								
Материал обрабатываемой заготовки, твердость, состояние поверхности перед обработкой	Чугун СЧ 18 (ГОСТ 1412—70), НВ 120—230, литейная корка																								
Оборудование, частота вращения шпинделя, мощность	Станок специальный двухшпиндельный карусельно-фрезерный 6М23, $n = 31,5 \dots 500$, $N = 50 \dots 800$, $N = 10,4$																								
Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента																								
Фрезерование плоскостей У и С черное и чистовое	Фреза торцовая насадная $\varnothing 315$ мм, оснащенная пластинами из композита 05																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Режим резания</th> <th rowspan="2">СОЖ</th> <th rowspan="2">$t_{осн}$</th> <th rowspan="2">Т, мин</th> </tr> <tr> <th>n</th> <th>v</th> <th>S_м</th> <th>f</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>500</td> <td>500</td> <td>0,054</td> <td>3—4</td> <td>800</td> <td rowspan="2">1,3</td> <td rowspan="2">360</td> </tr> <tr> <td>800</td> <td>800</td> <td>0,033</td> <td>0,5</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>		Режим резания				СОЖ	$t_{осн}$	Т, мин	n	v	S _м	f	500	500	0,054	3—4	800	1,3	360	800	800	0,033	0,5	1
Режим резания				СОЖ	$t_{осн}$	Т, мин																			
n	v	S _м	f																						
500	500	0,054	3—4	800	1,3	360																			
800	800	0,033	0,5	1																					



Элементы старой технологии

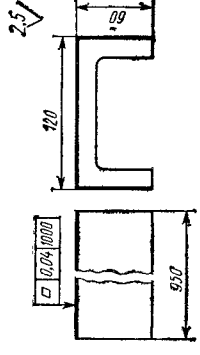
Технико-экономическая эффективность внедрения

Оборудование: то же. Материал режущей части инструмента: ВК8. Черновой рабочий ход: $v = 49,5$; $f = 3 \dots 4$; $S_M = 175$; чистовой рабочий ход: $v = 78,5$; $f = 0,5$; $S_M = 175$; $t_{осн} = 5,95$; $T = 240$ мин.

Увеличилась производительность обработки на 340 %. Снизилась шероховатость обрабатываемой поверхности с $Rz = 40$ мкм до $Ra = 1,5$ мкм. Годовой экономический эффект 69 000 р.

Фрезерование чугуна по корке

Изготавливаемая деталь	Брус					
Материал обрабатываемой заготовки, твердость, состояние поверхности перед обработкой	Чугун СЧ 12 отбеленный, НВ 240—280, корка					
Оборудование	Станок продольно-фрезерный модели ГФ1462					
№	Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента	Режим резания	СОЖ	$t_{осн}$	Т, мин (шт. загот.)
1	Фрезерование черновое	Фреза двухступенчатая $\varnothing 160$ мм ($z = 18$), оснащенная круглыми пластинами из композита 05	400	600	4,0	2,1
2	Фрезерование чистовое	То же	600	900	0,5	1,4



Элементы старой технологии

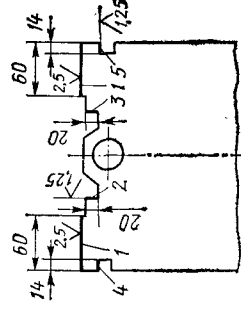
Технико-экономическая эффективность внедрения

Оборудование: 1-й переход — то же; 2-й переход — станок продольно-шлифовальный МС336. Материал режущей части инструмента: ВК8 (1-й переход). 1-й переход: $n = 32$; $v = 64$; $S_M = 250$; $f = 4,0$; $t_{осн} = 8,0$; $T = 120$ мин ($T = 15$ шт. загот.) 2-й переход: $t_{осн} = 13$.

Увеличилась производительность обработки на 600 %. Произведена концентрация операций. Годовой экономический эффект 68 700 р.

Фрезерование на продольно-шлифовальном станке

Изготавливаемая деталь	Стойка станка модели 6725В	Чугун СЧ 25 (ГОСТ 1412-79)	Станок продольно-шлифовальный фирмы «Шнайдер» (ФРГ), $n = 1000 \dots 5000, N = 20$	Вид режущего инструмента	Режим резания						СОЖ	$t_{осн. общ}$	Т, шт. загот.	
					№	Содержание перехода (операция)	н	v	Sz	S _м				f
Материал обрабатываемой заготовки														
Оборудование, частота вращения шпинделя, мощность														
1	Фрезерование поверхности 1	Фреза регулируемая Ø 160 мм, оснащенная СТМ												
2	Фрезерование поверхности 2	Фреза регулируемая Ø 160 мм, оснащенная СТМ, с удлиненным хвостовиком												
3	Фрезерование поверхности 3-5	Фреза регулируемая Ø 120 мм, оснащенная СТМ												3



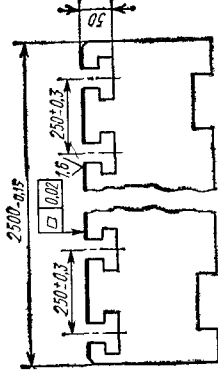
Элементы старой технологии

Технико-экономическая эффективность внедрения

Оборудование: станок продольно-шлифовальный фирмы «Вальдрик Кобург» (ФРГ)
 Увеличилась производительность обработки в 2 раза
 Шлифование заменено фрезерованием.
 Годовой экономический эффект 52 896 р.

Фрезерование окончателное стола станка в сборе

Изготавливаемая деталь	Стол станка модели МС643Ф3	Чугун СЧ 21 (ГОСТ 1412-79), НВ 180-240	Станок продольно-фрезерный МС643Ф3, $n = 200 \dots 1600, N = 30$	Вид режущего инструмента	Режим резания						СОЖ	$t_{осн}$	Т, млн (шт. загот.)	
					№	Содержание перехода (операция)	н	v	Sz	S _м				f
Материал обрабатываемой заготовки, твердость														
Оборудование, частота вращения шпинделя, мощность														
Фрезерование зеркала стола														360 (2)



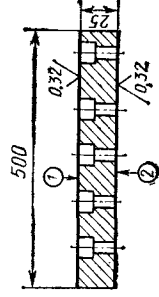
Технико-экономическая эффективность внедрения

Оборудование: то же. Режущий инструмент: фреза (z = 1), оснащенная твердым сплавом.
 $v = 85; S_m = 250; t = 0,1; t_{осн} = 6; t_{осн} = 1270, T = 100$ млн.

Увеличилась производительность обработки в 6 раз.
 Годовой экономический эффект 34 000 р.

Фрезерование закаленных стальных направляющих

Изготавливаемая деталь	Направляющая	№	Содержание перехода (операция)	Вид режущего инструмента	Режим резания						СОЖ	t _{осн}	T, шт. загот.
					n	v	S _z	S _m	f	i			
Материал обрабатываемой заготовки, твердость, состояние поверхности перед обработкой	Сталь ШХ15 (ГОСТ 801-79), HRC 60-62, окалина	1	Фрезерование поверхности 1. Повернуть деталь на 180°	Фреза регулируемая Ø 120 мм (z = 8), оснащенная СМ	1400	527	0,25	2800	0,3	1	—	1,5	200
		2	Фрезерование поверхности 2.	То же									



Элементы старой технологии

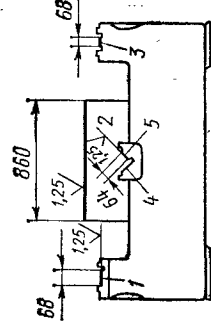
Технико-экономическая эффективность внедрения

Оборудование: станок продольно-шлифовальный МС-3.
 $v_{кр} = 25$; $v = 15$; $S_{поп} = 10$; $f = 0,03$; $t_{осн} = 3,0$;
 $T = 100$ шт. загот.

Увеличилась производительность обработки в 2 раза.
 Шлифование заменено фрезерованием.
 Годовой экономический эффект 12 500 р.

Фрезерование поверхностей станины высокоточного станка

Изготавливаемая деталь	Станина координатно-рас- точного станка	№	Содержание перехода (операция)	Вид режущего инструмента	Режим резания						СОЖ	t _{осн} общ	T, шт. загот.
					n	v	S _z	S _m	f	i			
Материал обрабатываемой заготовки	Чугун СЧ 28 (ГОСТ 1412-79)	3300-2300	Оборудование, частота вращения шпинделя, мощность	Станок продольно-шлифовальный модели SZ-2500 фирмы «Хеккерт» n = 1000 ... 3000, N = 100	800-1200	0,21-0,4	3000-8000	0,1-0,3	1-4	—	255	10	



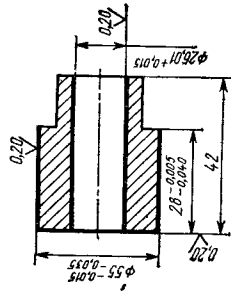
Технико-экономическая эффективность внедрения

Оборудование: то же.
 $t_{осн. общ} = 510$.

Увеличилась производительность обработки в 2 раза.
 Шлифование заменено фрезерованием.
 Годовой экономический эффект 39 760 р.

Презиционная обработка алмазным резцом

Иготовляемая деталь	Втулка шестеренного насоса НШ-32У-25	Материал обрабатываемой заготовки, твердость	Сплав алюминиевый антифрикционный, НВ 80—115	Оборудование	Станки алмазно-расточные 2705 и ОС-181, станок токарно-винторезный 16К20	Вид режущего инструмента	Режим резания						СОЖ	$t_{осн}$	Т, смен
							№	Содержание перехода (операции)	н	v	S ₀	S _м			
1	Растачивание $\varnothing 26,01 \pm 0,015$	Резец, оснащенный АСПК	3100	263	0,11	341	0,1—0,2								
2	Точение поверхности $\varnothing 55 \pm 0,005$	То же	1600	276	0,12	192	0,12	1							30
3	Подрезка торца	»	380	620	0,10	38	0,1—0,2								



Элементы старой технологии

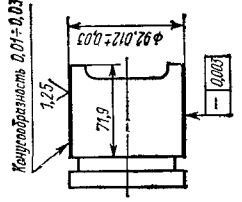
Технико-экономическая эффективность внедрения

Оборудование: 1-й переход — станок алмазно-расточный горизонтальный 2А710; 2-й переход — станок алмазно-расточный горизонтальный 2А715; 3-й переход — станок токарный специальный КК-662. Материал режущей части инструмента: ВК8.

Увеличилась производительность обработки на 80 %. Повысилась стойкость инструмента в 50—100 раз. Высвобождено пять станков.

Точение поршня автомобильного двигателя

Иготовляемая деталь	Поршень	Материал обрабатываемой заготовки, твердость	Сплав алюминиевый литейный АЛ30, НВ 90—120	Оборудование	Автоматическая линия фирмы «Лассаль» (Франция)	Вид режущего инструмента	Режим резания						СОЖ	$t_{осн}$	Т, шт. загот.
							н	v	S ₀	S _м	f	f			
Обтачивание юбки поршня по копиру		Резец проходной, оснащенный вставкой с режущей частью из АСПК	700	200	0,11	77	0,4	1							10 000



Элементы старой технологии

Технико-экономическая эффективность внедрения

Оборудование: то же. Режим резания: тот же; $t_{осн}$ то же, Т то же.

Произведена замена импортного инструмента.

Растачивание отверстий под поршневой палец

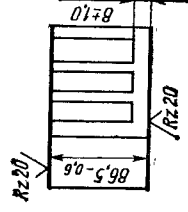
Изготавливаемая деталь	Поршень											Т, шт. загот.
Материал обрабатываемой заготовки, твердость	Сплав алюминиевый литый АЛ30, НВ 90—120											
Оборудование	Автоматическая линия фирмы «Лассаль» (Франция)											
Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента	Режим резания			СОЖ	$t_{осн}$	Т, шт. загот.					
Растачивание двух отверстий под поршневой палец	Вставка резцовая, оснащенная карбонадо	n	v	S ₀	S _М	t	СОЖ	$t_{осн}$	Т, шт. загот.			
		3000	236	0,076	228	0,11	1	Укри-нол-1	0,21	10 000		
Элементы старой технологии		Технико-экономическая эффективность внедрения										
Оборудование: то же. Режим резания: то же; $t_{осн}$ то же, T то же.		Произведена замена импортного инструмента.										

Алмазное растачивание бронзы

Изготавливаемая деталь	Толкатель											Т, шт. загот.
Материал обрабатываемой заготовки, твердость	Бронза БрОЦС4-4-2,5, НВ 60—70											
Оборудование	Станок алмазно-расточный горизонтальный 2А710											
Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента	Режим резания			СОЖ	$t_{осн}$	Т, шт. загот.					
Растачивание втулки толкателя	Вставка резцовая, оснащенная АСПК	n	v	S ₀	S _М	t	СОЖ	$t_{осн}$	Т, шт. загот.			
		3200	210	0,06	192	0,2	1	—	0,17	2100		
Элементы старой технологии		Технико-экономическая эффективность внедрения										
Оборудование: то же. Материал режущей части инструмента: ВК3. Режим резания: то же; $t_{осн}$ то же; T = 350 шт. загот.		Повысилась стойкость инструмента в 50—70 раз.										

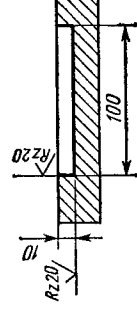
Алмазное фрезерование алюминиевого сплава

Изготавливаемая деталь	Крышка гидрораспределителя									
Материал обрабатываемой заготовки, твердость	Сплав алюминиевый АК5М2, НВ 70—90									
Оборудование	Станок барабанно-фрезерный ГФ-1080									
Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента	Режим резания						СОЖ	$t_{осн}$	T, мес
		n	v	S _z	S _m	t	t			
Фрезерование привалочных плоскостей	Фреза ступенчатая Ø 145 мм, оснащенная АСПК	1250	570	0,21	800	3,2	2	—	0,6	1,5—2
Элементы старой технологии										
Технико-экономическая эффективность внедрения										
Оборудование: то же. Материал режущей части инструмента в 50—100 раз. Повысилась стойкость инструмента в 50—100 раз.										



Алмазное фрезерование стеклопластика

Изготавливаемая деталь	Корпус									
Материал обрабатываемой заготовки	Стеклопластик									
Оборудование, частота вращения шпинделя, мощность	Станок вертикально-фрезерный 6Н12П, n = 25 ... 1600, N = 7									
Содержание перехода (операции)	Вид режущего инструмента	Режим резания						СОЖ	$t_{осн}$	T, мин
		n	v	S ₀	S _m	t	t			
Фрезерование паза	Фреза концевая Ø 40 мм (z = 4), оснащенная АСБ	1200	150	0,3	360	10	1	—	0,30	1080
Элементы старой технологии										
Технико-экономическая эффективность внедрения										
Оборудование: то же. Материал режущей части инструмента: ВК6. Увеличилась производительность обработки в 3 раза. Годовой экономический эффект 1000 р. на одну фрезу. v = 100; S ₀ = 0,1; S _m = 80; t то же; $t_{осн}$ = 1,37; T = 45 мин.										



1. Использование продольно-шлифовальных станков для обработки чугуновых корпусных деталей фрезами со вставками из сверхтвердых материалов. Методические рекомендации. М.: НИИМАШ, 1983. 11 с.
2. Металлорежущие станки для эффективной эксплуатации инструмента из синтетических СТМ и керамики. Методические рекомендации. М.: ВНИИТЭМР, 1986. 85 с.
3. Металлорежущий инструмент. Каталог. Ч. II: НИИМАШ, ч. II, 1983 — 142 с.
4. Номенклатура режущего инструмента из минералокерамики и сверхтвердых материалов на основе нитрида бора, выпускаемого заводами Минстанкопрома. М.: НИИМАШ, 1984. 44 с.
5. Обработка деталей станков с применением минералокерамики новых марок. Методические рекомендации МР-04-26—80. НПО Оргстанкинпром. М.: 1980. 55 с.
6. Общемашиностроительные нормативы режимов резания, норм износа и расхода при точении алюминиевых сплавов резами из синтетических сверхтвердых материалов. М.: НИИМАШ, 1982. 25 с.
7. Общемашиностроительные нормативы режимов резания, норм износа и расхода резцов, сверл и фрез при обработке неметаллических конструкционных материалов (пластмасс). М.: НИИМАШ, 1982. 144 с.
8. Общемашиностроительные нормативы режимов резания резами с механическим креплением минералокерамических пластин. Обработка на станках с ручным управлением и ЧПУ. М.: НИИМАШ, 1983. 45 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

- Алмазные круги для шлифования и заточки керамики — Балансировка 146 —
 Виды связок 145, 146 — Правка 146 — Свойства 145 — Технические характеристики 145
 — сверхтвердых материалов 162, 164
 Алмазные пасты — Применение 146
 — Состав 146
 Алмазы поликристаллические — Классификация 13, 14
 — Коэффициент трения 14
 — Основные характеристики 48
 — Свойства 5, 14
 Амборит 5

Б

- Белбор 5
 Боразон 10
 Борштанга с механическим креплением трехгранных пластин из керамики для токарных станков с ЧПУ — Конструкция 66

Вюрцин 9

Г

ГОСТ 7730—74	56	ГОСТ 19084—80	60
9206—80Е	146	19085—80	60
13135—80Е	176	25003—81	55, 56
16167—80	144	26476—85	252, 254
16171—81Е	145	26611—85	60, 61
16172—80Е	145	26612—85	60, 61
18242—72	56	26615—85	63
19042—80	250	26630—85	55

Д

Державки расточные — Обозначение согласно ISO 253

З

Заготовки двухслойные для напайного инструмента — Конструкция, размеры 53
 Зенковки с механическим креплением пластин из композита 05 для обработки отверстий в высокоабразивных углепластиках — Конструкция 45
 — Преимущества перед твердосплавными зенковками 45

И

Инструменты режущие — Технологические особенности применения инструментов, оснащенных СТМ и керамикой 130—134
 Инструменты режущие, оснащенные керамикой — Наибольшая эффективность применения 134 — Номенклатура 235—249 — Оптимальные условия эксплуатации 166 — Применение 5, 6, 139, 144
 — зарубежного производства — Особенности конструкций 66—68
 Инструменты режущие, оснащенные композитом — Применение 5, 6
 — с двухслойными режущими элементами с рабочим слоем на подложке из твердого сплава — Направление конструирования 46, 49
 — с неразъемным креплением — Методы крепления 30 — Рекомендуемое применение 30 — Примеры конструкций 31, 32
 — с разъемным креплением — Преимущества 32 — Примеры конструкций 31, 36, 37, 39, 40, 43—45
 Инструменты режущие, оснащенные поликристаллическим алмазом — Применение 5, 6
 Инструменты режущие, оснащенные сверхтвердыми материалами — Главное направление развития конструкций 30 — Наибольшая эффективность применения 134 — Номенклатура 222—234 — Области применения 27, 29 — Оптимальные условия эксплуатации 166 — Применение 130, 132, 133, 135—138, 140, 141—143 — Рекомендуемые условия заточки 163
 — алмазные — Применение 73
 Информационная карта комплексной обработки шпинделя резами из разных материалов 272
 — обработки резбового кольца сверлильного патрона 269, 270
 — подрезки торца маховика большегрузного автомобиля 282
 — прецизионной обработки алмазным резцом 308
 Информационная карта растачивания автоматной стали 297
 — алмазного бронзы 311
 — барабана тормоза 280
 — в специальном углепластике 294
 — высокоскоростного отделочного отверстия малого диаметра 286, 287
 — гильз из специального чугуна 283
 — закаленной гильзы цилиндра 281
 — легированной стали 295
 — отверстий в специальной керамике 293
 — отверстий высокой точности 287, 288

- отверстий под поршневой палец 310
- отверстий с высокими требованиями к шероховатости поверхности 291
- полуоси внутренней взамен планетарного шлифования 285
- посадочного отверстия фрез 292
- посадочного отверстия шестерни 296
- стали с высоким содержанием хрома 289
- точных отверстий 290
- Информационная карта точения втулки из специального порошкового сплава 268**
- гильз из конструкционной стали 271
- гильз цилиндров двигателя 263, 264
- коллекторной втулки 278
- конической поверхности закаленной детали 278
- наружной поверхности гильзы 273
- поршня автомобильного двигателя 309
- прокатных валков 261, 262
- пуансона штампа 267
- рабочей поверхности поршня 276
- шеек вала взамен шлифования 279
- шпинделя станка 16K20 274
- Информационная карта точения и подрезки торцов гильз цилиндров двигателя 265, 266**
- Информационная карта точения с ударом цилиндрической поверхности 277**
- Информационная карта фрезеровании алмазного стеклопластика 313**
- закаленных стальных направляющих 306
- на продольно-шлифовальном станке 302—304
- окончательное стола станка в сборе 305
- поверхностей станины высокоточного станка 307
- привалочной плоскости коробки скоростей тяжелого трактора 299
- привалочной плоскости корпусной детали 298
- чугуна по корке 301
- чугунного литья по корке 300

К

- Карбонит 14**
- Карта информационная — см. Информационная карта**
- Керамика — Классификация 15**
- Основные преимущества применения 15
- Повышенные прочности 23
- Рекомендации по выбору 28
- Киборит 10**
- Кирпичева — Кика закон механического подобия 11**
- Композиты — Понятие 5**
- Свойства 5, 12
- Коэффициент трещиностойкости — Понятие 13**
- Круги алмазные — см. Алмазные круги**

М

- Материалы керамические — см. Керамика**
- сверхтвердые — см. Сверхтвердые материалы (СТМ)

Н

- Напряжение при диаметральной сжатии диска — Формула для расчета 13**
- Ниборит 10**
- Нитрид бора — Диаграмма состояния 8**

П

- Пасты алмазные — см. Алмазные пасты**
- Пластины режущие — Изготовление с помощью медного электрода 94**

- Обозначение 250, 251
- Пластины режущие из керамики — Алмазные инструменты, используемые при шлифовании 144, 145 — Геометрические параметры 55 — Доводка рабочих поверхностей алмазными пастами на притирах 146, 147 — Допустимые зоны выкрашивания 55 — Допустимые параметры шероховатости поверхности 55 — Допустимые предельные отклонения основных параметров 54 — Классы точности 55 — Критические дефекты 56 — Маркировка 56 — Определенные режущие свойства 26 — Повышение качества и стабильности свойств 26 — Причины повторной заточки 144 — Расположение и допустимые размеры зон выкрашивания 55, 56 — Способы плоского шлифования 145 — Станки, рекомендуемые при шлифовании 145**
- на основе нитрида кремния — Изготовление 22, 26 — Физико-механические свойства 20, 21
- оксидной — Изготовление 15, 22—25 — Физико-механические свойства 16—18
- оксидно-карбидной — Изготовление 15 — Улучшение свойств 23
- Пластины режущие из композита — Допуски и предельные отклонения размеров 35**
- алмазные многогранные для резцов — Конструкции и размеры 52
- двуслойные — Преимущества 46
- для резцов — Конструкции 33
- для торцовых регулируемых фрез — Конструкции 34
- сменные многогранные, оснащенные СВБН — Конструкции 50, 51 — Обозначение 50, 51 — Размеры 50, 51
- цельные — Преимущества 45, 46
- Пластмасса — Классификация по обрабатываемости фрезерованием 109**
- Состав 100
- Предел прочности стали при растяжении 255—257**
- Приближенные соотношения чисел твердости по Бринеллю, Роквеллу, Шору, Виккерсу 255—257**

Р

- Расточные головки с пластинами из керамики 63, 65**
- Расточные оправки с пластинами из керамики для станков с ЧПУ — Конструкция 65**
- Резцовые вставки диаметром 10 мм, оснащенные композитом 01, 02 или 10 — Последовательность заточки на универсально-заточных станках с помощью трехповоротных тисков 148—154**
- оснащенные полукристаллами АСПК — Конструкции и размеры 47, 48 — Недостатки 46
- расточные круглого сечения с пластиной из композита 01 38
- расточные регулируемые с механическим креплением пластин из композита 36, 37
- с неразъемно закрепленным поликристаллом композита 01, 02 или 10 31
- Резцы алмазные — Примеры применения на заводах автомобильной промышленности 141—143**
- Резцы-вставки — Обозначение 254**
- Резцы для координатно-расточных станков, оснащенные композитом 01, 02 или 10 — Последовательность повторной заточки на универсально-заточных станках с помощью трехповоротных тисков 156—161**
- комбинированные с пластинами из керамики для расточной борштанги — Конструкция 65
- расточные для координатно-расточных станков, оснащенные композитом 01 или 10 31
- расточные, оснащенные композитом 01 или 10 — Конструкции 31
- с креплением ромбических пластин из керамики с отверстием — образным рычагом — Конструкция 62

- с механическим креплением многогранных пластин из керамики — Конструкция 61 — Технологические возможности 116, 117
- специальные с механическим креплением пластин из керамики с подводом СОЖ — Конструкция 66
- специальные токарные с пластинами из керамики — Конструкция 64
- с регулируемым стружколомом фирмы «Фельдмюлле» — Конструкция узла крепления 67
- токарные двусторонние с пластинами из керамики для наружного точения и растачивания — Конструкция 64
- токарные для наружного точения — Обозначение 252
- токарные комбинированные с двумя режущими пластинами из керамики для съема больших припусков за один рабочий ход — Конструкция 64
- токарные расточные с механическим креплением квадратной пластины из керамики — Конструкция 62
- токарные сборные с механическим креплением пластин из композита — Конструкция 36
- токарные сборные с перетачиваемыми вставками, оснащенными композитом 01, 02 или 10 31
- токарные ступенчатые для обработки прокатных валков 37

С

- Сверхтвердые материалы — Измерение твердости 11 — Классификация 9, 10 — Определения коэффициента трещиностойкости 13 — Определение термостойкости 10 — Получение 7, 9 — Понятие 7
- на основе нитрида бора — см. Композиты
- на основе углерода — см. Алмазы поликристаллические
- Силинит-Р — Определение коэффициента трещиностойкости 25, 26
- Особенности 25
- Сплавы алюминиевые — Классификация 109
- Применение 109
- Станки для эффективной эксплуатации режущих инструментов, оснащенных СТМ и керамикой — Корреляционная зависимость между жесткостью станка и стойкостью инструмента 167 — Способы увеличения стойкости инструмента и точности обработки 168 — Улучшение параметров работоспособности 172
- алмазно-расточные — Требования 177, 178
- продольно-шлифовальные — Суммарная жесткость некоторых станков 174 — Технические характеристики двухстоечных станков, рекомендуемых для работы торцовыми фрезами из СТМ 178 — Технические характеристики одностоечных станков, рекомендуемых для работы торцовыми фрезами из СТМ 177 — Точность обработки на некоторых станках 173
- сверлильно-расточной и фрезерной групп — Основные характеристики 184—211
- токарной группы — Основные характеристики 179—184
- токарные — Основные характеристики 179—184, 186 — Требуемый уровень жесткости шпиндельных узлов 169 — Условные характеристики для оценки работоспособности 168, 169
- фрезерные — Суммарная жесткость некоторых станков 174 — Технические характеристики 170, 171, 174—176 — Точность обработки на некоторых станках 173 — Требования к шпиндельным узлам 172

Т

- Технический глинозем — Получение 23
- Точение инструментом, оснащенным керамикой — Выбор заготовок 133
- Коэффициент стойкости в зависимости от вероятности безотказной работы резцов 124
- Коэффициент стойкости в зависимости от скорости резания и коэффициент расхода пластин в зависимости от стойкости 123

- Критерий износа пластин 123
- Ориентировочная масса пластин 128, 129
- Особенности обработки резцами, оснащенными В-3 81
- Особенности обработки резцами, оснащенными ВО-13 и ВОК-60 77—80, 83—86
- Особенности обработки резцами, оснащенными ОНТ-20 и силинитом-Р 86, 87
- Особенности обработки резцами, оснащенными ЦМ-332 и ВШ-75 75—77
- Отношение основного времени к штучному времени обработки 127
- Оценка работоспособности керамических пластин различной формы 118
- Подачи при точении резцами с пластинами из ВОК-60 и В-3 118
- Последовательность выбора режимов резания и определения расхода керамики 115
- Расход пластин в зависимости от трудоемкости обработки 126, 127
- Расход сборных элементов резца на один корпус 126
- Рекомендуемые диапазоны режимов резания 114
- Скорость и мощность резания при точении серого чугуна с НВ 169—222 резцами с пластинами из ВОК-60 и В-3
- Скорость и мощность резания при точении стали с НВ 179—260 резцами с пластинами из ВОК-60 и В-3
- Скорость резания при точении закаленных сталей резцами с пластинами из ВОК-60 121
- Стойкость резцов с пластинами из ВОК-60 и В-3 при различных скоростях резания в зависимости от вероятности безотказной работы 124
- Требования к деталям станка 133
- Ширина и угол наклона фаски на режущей пластине 118
- Точение инструментом, оснащенным композитом — Рекомендуемые режимы резания 91, 93
- Точение инструментом, оснащенным поликристаллическим алмазом — Рекомендуемые режимы резания 92
- алюминиевых сплавов — Геометрические параметры резцов 110 — Значения подачи в зависимости от требуемой шероховатости обработанной поверхности 110 — Значения скоростей резания 110 — Формула для расчета тангенциальной составляющей силы резания 110 — Формула для расчета эффективной мощности резания 110 — пластмасс — Группы обрабатываемости пластмасс 100 — Значения подачи 102 — Значения скоростей резания 103 — Особенности 99, 100 — Рекомендуемые геометрические параметры резцов 100 — Формула для расчета скорости резания 101
- Точение инструментом, оснащенным СТМ — Геометрические параметры режущей части инструмента 70, 71
- Критерий затупления инструмента 70
- Параметры, влияющие на шероховатость обработанной поверхности 71
- Способы повышения стойкости инструмента 70, 71
- Факторы, влияющие на износ и стойкость инструмента 69, 72
- Эмпирические зависимости для определения режимов резания 73, 74

У

- Углерод — Диаграмма состояния 8

Ф

- Фрезерование — Частота вращения заготовки или торцовой фрезы в зависимости от ее диаметра и скорости резания 258—260
- Фрезерование инструментом, оснащенным керамикой — Особенности обработки фрезами, оснащенными В-3, ВОК-60, ВОК-63, 87, 88, 90
- Особенности обработки фрезами, оснащенными ОНТ-20 89
- Особенности обработки фрезами, оснащенными силинитом-Р 89
- Рекомендуемые диапазоны режимов резания 114

Предметный указатель

- Фрезерование инструментом, оснащенным композитом** — Рекомендуемые диапазоны режимов резания 92, 93
— сталей и чугунов — Геометрические параметры режущей части фрез 94 — Значения подач в зависимости от параметров шероховатости обработанной поверхности, конструкции и геометрических параметров фрезы, обрабатываемых материалов 95, 96 — Значения скоростей резания в зависимости от подачи, глубины резания, твердости обрабатываемого материала и материала режущей части 96—99 — Критерий затупления фрез 94
- Фрезерование инструментом, оснащенным СТМ** — Выбор инструмента в зависимости от вида обработки 72
— Выбор критерия затупления 73
— Выбор оптимальных параметров резания 72
— Геометрические параметры режущей части инструмента 73
— Эмпирические зависимости для определения режимов резания 75
- Фрезерование пластмасс инструментом, оснащенным поликристаллическим алмазом** — Значения подач при обработке фрезами с ножами 104
— Значения скоростей резания фрезами с ножами 105—107
— Классификация обрабатываемости пластмасс в зависимости от структуры наполнителя 101
— Формула для расчета эффективной мощности резания 108
- Фрезы торцовые насадные нерегулируемые с механическим креплением неперетачиваемых прецизионных пластин из композитов 01, 05 или 10Д** — Конструкция 43
— регулируемые кассетной конструкции с механическим креплением неперетачиваемых прецизионных пластин из композитов 01, 05 или 10Д — Конструкция 38, 40, 41 — Размеры 42
— регулируемые со вставными ножами, оснащенными композитом 01 или 10 — Конструкция 38, 39 — Применение 42, 44
— с квадратными пластинами из керамики 63
— ступенчатые нерегулируемые с механическим креплением круглых неперетачиваемых пластин из композита 05 44
- Фрезы торцовые сборные с регулируемыми вставками с пластинами из керамики фирмы «Фельдмюлле»** 67

Э

Эльбор 9

- Эффективность технико-экономическая от внедрения инструментов, оснащенных СТМ и керамикой** — Алгоритм расчета экономической эффективности вследствие снижения себестоимости изготовления изделия с применением инструмента, оснащенного СТМ и керамикой 218—221
— Карта условий обработки 216
— Определение затрат на инструмент и оборудование 219
— Определяющие факторы 212
— Показатели расчета эффективности от внедрения нового технологического процесса 213—215
— Сводная таблица экономической эффективности от внедрения инструмента из керамики и композита 220
— Формула для расчета экономической эффективности 218