

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева

ВЫПОЛНЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
"РЕЗАНИЕ, СТАНКИ, ИНСТРУМЕНТЫ"

Раздел "Режущие материалы"
Методические указания

Куйбышев 1990

Составитель Владимир Дмитриевич С м о л и н

УДК 621.9.02.002.3

Выполнение курсовой работы по дисциплине "Резание, станки, инструменты": Раздел "Режущие материалы": Метод. указания / Куйбышев, авиац. ин-т ; Сост. В.Д.Смолин. Куйбышев, 1990. 36 с.

Рассмотрены основные группы инструментальных материалов и проанализированы основные направления по повышению уровня использования режущего инструмента в промышленности.

Особое внимание уделено режущему инструменту с использованием сверхтвердых материалов, режущей керамике, безвольфрамовым твердым сплавам, новым инструментальным материалам. Затронуты вопросы электрофизического упрочнения готового инструмента, повышающие его стойкость. Даны рекомендации по применению инструмента с механическим креплением многогранных режущих пластин с целью повышения производительности обработки и снижения расхода инструментального материала. Приведены данные по физико-механическим свойствам современных инструментальных материалов.

Предназначены для студентов I, 2 и 3 факультетов дневного и вечернего отделений, выполняющих технологические задания и курсовые работы с использованием режущего инструмента.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Куйбышевского ордена Трудового Красного Знамени авиационного института имени академика С.П.Королева

Рецензенты: д. техн. наук Б.А.Нравченко, канд. техн. наук А.В.Тарасов

Повышения производительности труда в современных условиях можно добиться, используя новые, более износостойкие и теплостойкие материалы режущих инструментов. Их совершенствование идет непрерывно. Однако рост твердости режущей кромки ведет, как правило, к падению ее прочностных характеристик (табл. I), а это в свою очередь — к преждевременному выкрашиванию режущей кромки, особенно при обработке современных авиационных материалов. Указанное противоречие можно устранить с помощью нанесения износостойких покрытий на прочную подложку. В настоящее время идет совершенствование технологии нанесения таких покрытий. Выбор марки режущего материала представляет собой достаточно сложную технологическую задачу и требует определенных познаний в этой области.

МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ

В авиационном машиностроении твердые сплавы нашли самое широкое применение. Они имеют ряд ценных для резания свойств, главные из которых — высокая твердость (HRA 82...92) и износостойкость, сохраняющиеся при повышенной температуре, характерной для зоны резания. У твердых сплавов высокий модуль Юнга ($E = 5 \cdot 10^5 \dots 7 \cdot 10^5$ МПа), т.е. практически нет упругой деформации. Следует отметить высокий предел прочности при сжатии ($\sigma_{сжм} \approx 5$ ГПа) и хорошую (на уровне стали) теплопроводность, а также химическую устойчивость. Появление твердых сплавов позволило резко повысить скорость резания при механической обработке высокопрочных сталей и сплавов.

Существует 4 группы твердых сплавов:
однокарбидные вольфрамкобальтовые (ЭК);
двухкарбидные вольфрамтитанокобальтовые (ТК);
трехкарбидные танталтитановольфрамовые (ТТК);
безвольфрамовые на основе TiC и $TiCN$.

Выпускаемые в настоящее время марки твердых сплавов определены ГОСТ 3882-74, согласно которому введена классификация твердых сплавов по их применению с учетом свойств каждой марки. В зависимости от обрабатываемого металла и типа стружки сплавы делятся на три группы: Р, М, К. Внутри группы с помощью цифрового индекса произведено деление на подгруппы, например: Р 20 или М 40. Чем больше цифровой индекс, тем ниже износостойкость и допустимая скорость резания, но выше прочность и допустимое сечение среза. Если твердый сплав с покрытием, то к обозначению группы применения добавляется буква С, например: К 20С.

Группу ВК (табл.2) рекомендуется применять при обработке чугуна, жаропрочных, нержавеющих и титановых сталей и сплавов в условиях прерывистого резания и повышенного уровня вибраций в системе СПИД.

Группу ТК (табл.3) используют в условиях достаточной устойчивости процесса резания при обработке материалов, не содержащих в своем составе Ti . Обработка ведется на высокой скорости резания, так как теплоустойкость у этой группы - 850...900°C (см.табл. 3). Высокая твердость при повышенной температуре обеспечивается за счет свойств твердого раствора карбидов вольфрама в карбиде титана. По сравнению со сплавами группы ВК сплавы ТК обладают большей твердостью, теплоустойкостью и стойкостью к окислению. Температура схватывания со сталью также выше, чем у ВК. Но у сплавов ТК ниже теплопроводность λ и ϵ . При увеличении в твердом сплаве количества TiC возрастает износостойкость и одновременно падает прочность. Отсюда следуют общие рекомендации. Сплавы Т30К4 и Т15К6 целесообразно применять для чистовой и получистовой обработки стали на высоких скоростях с малым сечением среза. Сплавы Т5К10 и Т5К12 должны использоваться на пониженной скорости и с большими нагрузками. Допускается работа с ударами. Для чистового фрезерования чугуна разработан сплав Т8К7 (HRA 91, $\sigma_{II} = 1550$ МПа), имеющий преимущество по стойкости в 2...2,5 раза по сравнению с ВК6 [9]. При обработке нержавеющих и титановых сплавов рекомендуется применять сплав ТТ8К6.

Группа ТТК (табл.4) используется в условиях циклического изменения температуры и повышенных требований к прочности и теплоустойкости инструментального материала. Промышленно выпускаются следующие марки этой группы: ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ10К8Б и ТТ20К9. Они дают возможность при точении конструкционной стали увеличить скорость резания в 3...3,5 раза по сравнению с быстрорежущими резцами, а при строгании и торцовом фрезеровании - в 2,5 раза.

Введение в твердый сплав группы ТТК карбида тантала увеличивает σ_{II} и твердость при температуре 600...800°C. Увеличивается также циклическая прочность и стойкость к окислению. Содержание TaC в сплавах следующее: ТТ7К12 - 3 %, ТТ8К6 - 2 %, ТТ10К8-Б - 7 %, ТТ20К9 - 14,1 %.

Наиболее прочным для обработки стали при прерывистом точении, строгании и черновом фрезеровании является сплав ТТ7К12. С целью экономии тантала разработаны сплавы ТТ20К9А и ТТ21К9, характеризующиеся однородной мелкозернистой структурой и меньшим количеством TaC [9]. Эти сплавы предназначены для фрезерования и имеют следующие характерис-

Таблица 2

Выбор марок твердых сплавов группы ТК для лезвийной обработки

| Группа Основ- ная | Отечест- венный аналог | Твердость HV/HRB, ГПа/В.С. | Бил, ТПа | θ , °С | $\frac{A}{B},$ $\frac{V_1}{M_1}$ | Сплав, ТПа | Вл, Дж/м ² .Г05 | Назначение |
|-------------------------|------------------------------|----------------------------------|-------------|------------------|-------------------------------------|---------------|-------------------------------|--|
| P01 | T30K4 | 1610...1615 92 | 0,96 | 900 | 12,5 | 3,5 | - | Чистовое точение нержавеющей, высокопрочной и жаропрочной стали в стабильных условиях. Большие V, малые S. Сливная стружка |
| P10 | T15K6 | 1520...1618 90 | 1,176 | 900 | 12,5 | 4,3 | 0,3 | Чистовое точение нержавеющей и жаропрочных сталей в благоприятных условиях, лучше с СО ₂ . Довышенное V, средние S. Сливная стружка |
| P20 | T14K8 | 1480...1613 89,5 | 1,274 | - | 16,7 | 3,0 | - | Черновое точение легированной стали в средних условиях. Средние V и S. Сливная стружка |
| P30 | T5K10 | 1430...1517 88,5 | 1,421 | 1000 | 20,8 | 3,1 | - | Черновое точение легированной стали в неблагоприятных условиях на средних и тяжелых режимах. Сливная стружка |
| P40 | T5K12 | 87 | 1,666 | - | 20,8 | 3,2 | - | Черновое точение высокопрочной и жаропрочной стали, в том числе нержавеющей, в неблагоприятных условиях. Малые V, большие S и Z. Сливная стружка и стружка надлома |

Выбор марок твердых сплавов группы ВК для лезвийной обработки

| Группа основ- ная | Следост- венный знакод | Твердость HV/HRA | σ_p , Шпа | θ , ос | λ , $\frac{BT}{MK}$ | Скорос- тца Шпа | Вид Держ- тв | Назвече- ние |
|-------------------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------|------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------|---|
| K01 | ЭК3 (ВК3-М) | $\frac{19,4}{17,6 \dots 90}$ | 1,176 | - | - | 4,27 | - | Чистовое точение чугуна и туго- плавких сплавов. Точение пластмасс и т.п. Стружка надлом |
| K05 | ЭК6-0М | $\frac{16,5}{15,0 \dots 90,5}$ | 1,274 | - | - | - | - | Чистовое точение нержавеющих, жаро- прочных и титановых сплавов и ста- лей в благоприятных условиях |
| K10 | ЭК5-Н (ТТЭК5) | $\frac{19,3}{16,6 \dots -}$ | 1,421 | 800 | - | - | - | Чистовое и подчистовое точение ле- гированных сталей и жаропрочных сплавов. Стружка надлом |
| K10 | ЭК6 | $\frac{17,2}{15,7 \dots 88,5}$ | 1,519 | 800 | 5,02 | 4,39 | - | Чистовое и подчистовое точение чугуна, жаропрочных и тугоплавких сплавов |
| K15 | ЭК6 | $\frac{17,2}{15,7 \dots 88,5}$ | 1,47 | - | - | - | - | Подчистовое и черновое точение чугуна в благоприятных условиях |
| K20 | ЭК8, ВК6 | - | - | - | - | - | - | Черновое точение чугуна и цветных сплавов в неблагоприятных условиях. ...алле V, больше S. Стружка надлом |
| K40 | ЭК8 | $\frac{-}{87,5}$ | 1,666 | 800 | - | 4,21 | 0,6 | Черновое точение высокопрочных, жа- ропрочных, титановых сплавов и ста- лей в неблагоприятных условиях. Стружка надлом |

Продолжение табл.3

| Группа основ- ная | Очечств- венный аналог | Твердость HV/HRA | σ_n , ТПа | σ_c , °C | A , $\frac{BT}{MK}$ | $\sigma_{окс}$, ТПа | Δn $\frac{Вок \times 10^3}{M^2}$ | Назначе- ние |
|-------------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------------|-------------------------|---|--|
| Л1С | Э6-Оп. (ТТЭК6) | $\frac{165}{150-170}$ | - | - | - | - | - | Чистовое и получистовое точение жаро- прочных и нержавеющей сталей. Большие V , средние S . Сварная и стружка надлома |
| Л10 | Э6 (ТТЭК12) (Э10-Оп) | $\frac{87,5}{87,5}$ | - | - | - | - | - | Чистовое и черновое точение нержаве- ющих сталей, в том числе по корке. Ма- лине V , большие S . Прерывистое ре- зание |
| Л15 | Э6 ДТ | - | - | - | - | - | - | Универсальная марка для чугуна. Ис- пользуется в очень плохих условиях. Большие V и S . Высокая износостой- кость |
| Л30 | Э10-Оп (Э10-Д) (ТТЭК15) | $\frac{88,5}{87}$ | 1,470 | - | - | - | - | Сталь, стальное литье, мартеновско- тая сталь, легированный чугун, аус- теничные стали, ковкий чугун, авто- матная сталь, жаропрочные стали и сплавы на режме $S = 0,4 \dots 1,0 \text{ мм/об}$ $V = 4 \dots 10 \text{ мм}$ |
| - | ЭМ-В | $\frac{88}{87,5}$ | 1,375 | - | - | - | - | - |
| - | ЭО-В | $\frac{87,5}{86,5}$ | 1,52 | - | - | - | - | - |
| - | ЭК-Э | $\frac{86,5}{86,5}$ | 1,715 | - | - | - | - | - |

| Группа основ- ная | Отечест- венный аналог | Твердость HV/HRA | σ_b , ТПа | θ , °C | λ , $\frac{BT}{MK}$ | $\sigma_{сжм}$, ГПа | α_n , $\frac{Аво \times 10^6}{M^2 \times 10^6}$ | Назначение |
|-------------------------|------------------------------|---------------------|---------------------|------------------|--------------------------------|-------------------------|---|---|
| K01 | BK3-M | - 91 | 1,176 | - | - | - | - | Окалиностойкие и жаропроч- ные литейные сплавы на ни- келевой основе, закаленная сталь, цветные металлы, пластмассы. Стружка надлю- ма. $S > 1,0$ мм/об, $t \approx 6 \dots$ $\dots 20$ мм |
| K30 | BK4, BK8 | - 89,5 | 1,519 | - | 5,02 | 4,36 | | |
| K40 | BK15, BK8 | - 86 | 1,862 | - | - | - | | |
| K50 | BK10 | - 87 | 1,764 | - | 5,45 | 4,12 | | |
| - | BK4-B | - | 1,375 | - | - | - | | |
| - | BK10-KC | - 85 | 1,715 | - | - | - | | |
| - | BK11-B | - 86 | 1,760 | - | - | - | | |
| - | BK11-BK | - 86 | 1,76 | - | - | - | | |
| - | BK20 | - 84 | 1,911 | - | - | - | | |
| - | BK20-KC | - 82 | 2,03 | - | - | - | | |
| - | BK20-K | - 79 | 1,52 | - | - | - | | |
| - | BK25 | - 82 | 1,96 | - | - | - | | |

Таблица 4

Выбор марок твердых сплавов группы ТТХ для лезвийной обработки

| Группа основная | Отечественный аналог | Твердость HV/HR ₁₅ , ГПа/БР.Р.В | Bl, ГПа | σ, ОС | Р, ВТ, МПа | Бэм, ГПа | Bl, Дюж-10 ³ | Назначение |
|-----------------|----------------------|--|---------|-------|------------|----------|-------------------------|---|
| P25 | ТТ30К9 | 14,8...16,5 91 | 1,470 | - | 13,7 | - | - | Черноевое точение стали в неблагоприятных условиях |
| P30 | ТТ10К8Е | 89 | - | - | - | - | - | Черноевое точение легированных и нержавеющей стали, бливная и стружка надлома |
| P25 | ТТ10К8ЕТ | - | - | - | - | - | - | Черноевое точение стали и чугуна, повышенные V, средние S, Зысокая износостойкость |
| P35 | ТТ7А12Т | - | - | - | - | - | - | Универсальная марка для стали. Черноевое точение стали и чугуна в неблагоприятных условиях. Гольште V и S |
| P50 | ТТ7А12 | - | 1,335 | - | 30,9 | 3,1 | - | Тяжелое черноевое точение легированных, нержавеющей и жаропрочных сталей |
| M10 | ТТ10К8 | 15,8...16,8 90,5 | 1,323 | - | - | - | - | Сталь, стальное литье, марганцевая сталь, легированная |
| M20 | ТТ10К8-1 | 15,3...16,3 89 | 1,317 | - | 13,7 | - | - | Чугун, аустенитная сталь, ковкий чугун, легированная сталь |

| Группы основная | Отечествен- ный аналог | Твердость HV/HRA, HRA/B, P, V | σ_r , ГПа | δ , °С | ρ , $\frac{ВТ}{М·К}$ | $\sigma_{ож}$, ГПа | $\Delta \rho$, Дж/м ³ | Назначение |
|------------------------|---------------------------|-------------------------------------|---------------------|------------------|------------------------------|------------------------|--------------------------------------|---|
| P10 - P20 K10 - K20 | КН116 | — | — | — | — | — | — | Чистовое и получистовое точение цветных сплавов |
| P01 - P10 K10 - K20 | ТН20 | — | — | — | — | — | — | Чистовое и получистовое точение цветных сплавов |
| - | ТН50 | — | — | — | — | — | — | Используется для опорных пластин |

Примечание. С ростом цифры при букве Р, М, К износостойкость увеличивается, а прочность при изгибе уменьшается.

тики: ТТ20К9А - НРА 91, $\sigma_u = 1,3 \cdot 10^3$ МПа; ТТ21К9 - НРА 91, $\sigma_u = 1,4 \cdot 10^3$ МПа. Группа применения Р25 (см. табл.2).

Для всех марок твердых сплавов характерно то, что с увеличением относительного содержания кобальта и соответственно уменьшением содержания карбидов повышается прочность, но снижается теплостойкость режущего материала. При одинаковом содержании Co группа ВК имеет более высокую ударную вязкость Q_u и предел прочности при изгибе, а также лучшую тепло- и электропроводность.

В промышленности наиболее широкое распространение получили марки твердых сплавов Т15К6 и ВК8. Это частично объясняется определенной стабильностью их свойств. Разброс показателей прочности и теплостойкости для различных марок твердых сплавов значителен, что связано с недостаточно строгим соблюдением химического состава, структуры исходного сырья и технологических параметров при производстве твердых сплавов. Существенное колебание эксплуатационных свойств твердых сплавов приводит к колебанию стойкости режущего инструмента, что крайне нежелательно в условиях производства, особенно автоматизированного. При выборе марки сплавов группы ВК следует руководствоваться следующим. Сплав ВК3 наиболее износостойкий, но наименее прочный. Рекомендуется для чистовой обработки с высокой скоростью резания V , но малыми подачей S и глубиной резания t . Сплавы ВК8, ВК6М и ВК10-ОМ предназначены для черновой обработки с пониженной скоростью резания, но увеличенным сечением среза. Допускается работа с ударом.

Повышения прочности твердых сплавов группы ВК можно добиться не только за счет увеличения содержания Co (до 18%), но и увеличением размера зерен карбида вольфрама (с 1...1,5 до 5 мкм). При этом несколько снижается твердость, теплостойкость и износостойкость (см. табл.2). Крупнозернистые твердые сплавы имеют в маркировке букву В. Например: ВК8В.

Снижение величины зерна до 0,5...1,5 мкм (по ГОСТ 4872-75) в группе ВК способствует росту износостойкости. Так, стойкость сплавов ВК6М, ВК10М выше в 2-3 раза по сравнению со сплавом ВК8 [3]. Твердые сплавы ВК6-ОМ и ВК10-ОМ содержат по 2% TaC и 0,1% ванадия, препятствующих росту зерна WC при спекании. В сплавах ВК10-ХОМ и ВК-15ХОМ карбид тантала заменен карбидом хрома. Такое легирование увеличивает твердость и прочность при повышенных температурах. Сплав ВК10-ХОМ имеет НРА 89 и $\sigma_u = 1500...1700$ МПа, а сплав ВК15-ХОМ - НРА 87,5 и $\sigma_u = 1600...1800$ МПа [9].

Четвертую группу составляют безвольфрамовые твердые сплавы (БВТС) на основе карбидов и карбонитридов титана с никельмолибденовой связкой. Состав промышленных БВТС следующий: КНТ16 - TiC 74 %, Ni 19,5 %, Mo 6,5 %; ТН20 - TiC 79 %, Ni 15 %, Mo 6 %; ТН50 - TiC 53 %, Ni 34 %, Mo 13 %.

По сравнению с твердыми сплавами трех первых групп БВТС имеют более низкую теплопроводность λ и больший коэффициент линейного расширения α (см. табл. I). Особенно они уступают твердым сплавам по модулю упругости E , имеют хорошую химическую стойкость. Твердость их при температуре 600°C близка к твердости сплава Т15К6 и составляет $(8...9) \cdot 10^3$ МПа. К сожалению, БВТС плохо припаиваются к державке резца (образуются микротрещины), поэтому их используют в инструменте с мехкреплением. Из БВТС выпускают неперетачиваемые многогранные режущие пластины (МРП) по ГОСТ 19048-80, 19052-80, 19071-80. Наибольшая износостойкость при точении стали 45 у сплава ТН20. Наибольшая стойкость к термическим ударам - у КНТ16 (число циклов до разрушения ~ 12). "Ломающая" подача ТН20 - 0,3 мм/зуб, КНТ16 - 0,54 мм/зуб; $t_{max} < 5,0$ мм. Для успешной эксплуатации необходимы качественная обработка опорной поверхности МРП и отсутствие зазора с опорной поверхностью державки. Рекомендуется производить поворот пластины, не дожидаясь достижения износа по задней поверхности $t_{зад}$ $\approx 1,5$ мм с целью предупреждения поломки пластины. Можно успешно применять БВТС при торцовом фрезеровании конструкционных сталей типа 40Х, но подача при этом $S_Z < 0,05...0,08$ мм/зуб [9].

МРП С ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ

В настоящее время считается целесообразным выпускать сменные МРП с износостойким покрытием в основном из нитрида, карбида и карбонитрида титана, повышающих стойкость инструмента в 1,5...2 раза. Это объясняется еще и уменьшением адгезионного и диффузионного износа передней поверхности инструмента, а также некоторым снижением температуры резания. Толщина покрытия, имеющего высокую твердость и устойчивость к воздействию агрессивных сред, небольшая, 5-10 мкм.*

Наибольшее распространение получили следующие методы нанесения покрытий [10]:

* Твердосплавные пластины с покрытием из сверхтвердых материалов (СТМ), рассмотренные в разделе, имеют толщину покрытия на два порядка больше.

конденсация газообразных соединений из газовой среды с образованием твердых пленок на поверхностях режущего инструмента (способ ГТ);

термодиффузия в материал инструмента твердых соединений из металлических порошков (способ ДТ);

конденсация вещества из плазменной фазы в условиях ионной бомбардировки (способ КИБ).

Способы ГТ и ДТ высокотемпературные ($\sim 1000^{\circ}\text{C}$), поэтому используются для упрочнения только твердого сплава. Метод КИБ имеет нижний температурный порог $\sim 500^{\circ}\text{C}$, поэтому может применяться и для упрочнения быстрорежущего инструмента.

Наличие покрытия на платинах из твердого сплава позволяет расширить область его применения. Например, пластины из $\text{ZrO} + \text{TiC}$ могут применяться в диапазоне $\text{K10} \dots \text{K20}$ и $\text{M10} \dots \text{M20}$.

МРП с покрытиями хорошо показали себя при точении и полуставом резерезовании конструкционных сталей. При черновой обработке их эффективность снижается. На труднообрабатываемых сталях и сплавах эффект также отсутствует.

В настоящее время за рубежом 70 % МРП выпускается с покрытиями. Перечень отечественных пластин с покрытиями представлен в табл.5. Можно отметить тенденцию к выпуску МРП с многослойными покрытиями, показавшими себя более эффективными.

БЫСТРОРЕЖУЩИЕ СТАЛИ

ГОСТ 19265-73 предусмотрен выпуск 14 марок быстрорежущих сталей. Существует несколько вариантов группировки этих сталей. Так, их делят на стали, содержащие повышенное количество кобальта и ванадия, и стали, не содержащие кобальта (P18, P12, P9, P6M5, P6M5Ф3).

Второй вариант - это стали нормальной производительности (P9, P12, P18, P6M3, P6M5, P18Ф2) и повышенной производительности (P9Ф5, P9K5, P9K10, P10K5Ф5, P14Ф4, P18Ф2K5).

Третий вариант деления по теплостойкости:

стали нормальной теплостойкости (P9, P12, P18, P6M3, P6M5, P6M3);

стали повышенной теплостойкости - $\theta = 625 \dots 640^{\circ}\text{C}$. Это стали повышенной производительности и новые стали - 10P6M3, P12Ф3, (HRC₂ 65,5...67), P12Ф4Ф5 (HRC₂ 67...68), P8M3K3C, P6M4K3Ф5, P12M3K3K3 ($\theta = 640 \dots 650^{\circ}\text{C}$, HRC₂ 70,5);

стали высокой теплостойкости ($\theta = 700 \dots 725^{\circ}\text{C}$): ВЛН7K23,

ВЗМ12К23, В18М7К25, В18М4К25 (НКС, 68...70), 25В20К25ХФ, 3В20К16ХФ.
($\sigma_T = 2500...2700$ МПа).

Т а б л и ц а 5

Современные МРП с покрытиями [9]

| Группа применения | Марка МРП | Сплав-основа | Состав покрытия |
|-----------------------------------|-----------------|--------------|------------------------|
| О т е ч е с т в е н н ы е | | | |
| P10...P30 | ЭП1255 | ТТ7К9 | $TiC + TiCN + TiN$ |
| P20...P40 | ЭП1325 | Т5К10 | $TiC + TiCN + TiN$ |
| К10...К20 | ВК6-ДТ | ВК6 | TiC |
| | ЭП3115 | ВК3 | $TiC + TiCN + TiN$ |
| К20...К30 | ЭП3325 | ВК8 | $TiC + TiCN + TiN$ |
| З а р у б е ж н ы е | | | |
| P25...P30, М20...М40 | 518 США | - | TiC |
| Р01, М05, К01...К10 | 545 США | - | Al_2O_3 |
| P10...P50, М20...М40 | Кс850 США | - | $TiC + TiN$ |
| Р01...P25, М05...М20 К01...К30 | Кс910 США | - | $TiC + Al_2O_3$ |
| P10...P40 | СТ2 ФРГ | - | $TiC + TiN$ |
| Р01...P25, М05...М20 К05...К20 | SR17 Австрия | - | $TiC + TiCN + Al_2O_3$ |
| М05...М20, К05...К20 | GMI6 | - | $TiC + TiN$ |

Основным недостатком традиционных вольфрамовых марок быстрорежущей стали P9 и P18 является их недостаточная теплоустойчивость при обработке современных сталей и сплавов (табл.3). Это объясняется высокой концентрацией тепла в зоне режущей кромки при обработке жаропрочных сплавов, которая объясняется низкой теплопроводностью обрабатываемого и обрабатывающего материалов. Значительное выделение тепла в ограниченном объеме ведет к росту температуры и соответственно к снижению прочности и стойкости лезвия. Однако высокие механические свойства быстрорежущей стали (по сравнению с твердыми сплавами и минералоперламитами) позволяют применять ее при черновой обработке и прерывистом резании на соответствующей скорости резания.

Быстрорежущие стали, легированные кобальтом, имеют наиболее высокую теплоустойчивость и твердость (см. табл.3). У них несколько выше λ .

Таблица 6

Физико-механические свойства быстрорежущих сталей

| Марки быстрорежущих сталей | $\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³ | HV/HRC, ГПа/б.р.в. | $\sigma_{\text{л}}/10^3$, МПа | θ , °C | $\frac{Q_{\text{л}}}{M^2} \cdot 10^5$ |
|--|---|-----------------------|-----------------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Р18 (Р5-1) ГОСТ 19265-73 | 8,1 | - / 62 | 2,9-3,1 | 620 | 3,0 |
| AP18 ТУ 14-1-1419-75 | 8,1 | - / 62 | 2,9-3,1 | 620 | 3,0 |
| Р18Ф ТУ 14-1-318-72 | 8,1 | - / 63 | 2,9-3,1 | 620 | 3,0 |
| Р18К5Ф2 ГОСТ 19265-73 | - | - / 64 | ...3,16 | 610 | 1,75-2,3 |
| Р18Ф2К8М (ЭП379) ЧМТУ ЦНИИЧМ-691-62 | 8,7 | - / 65 | 3,5 | 650 | 0,8-1,5 |
| Р12 (ЭП201) ГОСТ 19265-73 | 8,3 | - / 62 | 3-3,2 | 620 | 3,8 |
| AP12 ТУ 14-1-1419-75 | 8,3 | - / 62 | 3-3,2 | 630 | 3,8 |
| Р12Ф3 (ЭП597) ГОСТ 19265-73 | - | - / 63 | 3-3,1 | 630 | 2,6-2,7 |
| Р12Ф4К5 (ЭП600) ТУ-14-1-404-72 | - | - / 64 | 2,6 | 640 | 6,5 |
| Р12М3Ф2К8 (ЭП657) ТУ 14-1-691-73 | 8,4 | - / 64 | 2,5-3 | 640 | 1,6-2,0 |
| Р10К5Ф5 ГОСТ 19265-73 | 8,12 | - / 63 | 3,5 | 640 | 1,0 |
| Р10М4Ф3К10 (ЭП801) ТУ 14-1-318-72 | - | - / 64 | 2,5 | 640 | 2,3 |
| Р9К5 ГОСТ 19265-73 | 8,22 | - / 63 | 2,5 | 640 | 0,7 |
| Р9К10 ГОСТ 19265-73 | 8,26 | - / 63 | 2,5-2,1 | 640 | 1,6-1,8 |

Окончание табл.6

| Марки быстрорежущих сталей | $\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³ | HV/HRC, ГПа/б.р.в. | $\sigma_n / 10^3$, МПа | θ , °C | Q_n , $\frac{\text{Джо}}{\text{мм}^2} \times 10^5$ |
|---|---|-----------------------|----------------------------|------------------|---|
| Р9М4К8 (ЭП688) ГОСТ 19265-73 | - | - / 64 | 1,8-2,4 | 630 | 2,1 |
| Р9 (ЭП262) ГОСТ 19265-73 | 8,1 | - / 62 | 3,35 | 620 | 2,0 |
| Р8М3 (ЭП716) ТУ 14-1-404-72 | - | - / 63 | 3,05-3,2 | 620 | 4,5 |
| Р9М4К8(Ф) ЭП688 ГОСТ 19265-73 | - | - / 67,5 | - | 630 | 2,6 |
| Р6М5 ГОСТ 19265-73 | 8,1 | - / 63 | 3,3-3,4 | 620 | 4,8 |
| Р6М5К5 ГОСТ 19265-73 | 8,2 | - / 64 | 3,0 | 630 | 2,75 |
| АПР6М5 ТУ 3-841-74 | - | - / 63 | - | 620 | - |
| АР6М5 ТУ 14-1-1419-75 | - | - / 63 | - | 620 | - |
| 10Р6М5 | - | - / 64 | 3,5 | 620 | 4,8 |
| Р8М5Э2К8 (ЭП658) ТУ 14-1-93-73 | 8,06 | - / 64...68 | 3,0-3,5 | 640 | 2-3 |
| 10АР6М5 ТУ 14-1-1419-75 | - | - / 64 | - | - | - |
| Р2Э2К8М6АТ (ЭП734) ТУ А-78-45-203-69 | 7,9 | - / 64...68 | 2,7-3,4 | 620 | 2-3,2 |
| Р0Э2К8М6АТ (ЭП733) ТУ А-78-45-203-69 | 7,8 | - / 64...68 | 2,3-4,1 | 620 | 2-5,2 |
| Р6М5Э3 ГОСТ 19265-75 | 7,9 | - / 63 | - | - | - |
| АПР3М3Э2 (ЭП894) ТУ 14-1-12409-78 | 7,9 | - / 63 | 2,9-4,0 | 620 | - |

Кроме того, введение кобальта улучшает шлифуемость стали.* Быстрорежущие стали в зависимости от их химического состава делятся на три группы: хорошей (Р6М5, Р18, Р12), удовлетворительной (Р9) и пониженной шлифуемости. Существенное влияние на шлифуемость оказывают карбиды ванадия, отличающиеся высокой твердостью по сравнению с карбидами вольфрама. При содержании ванадия в стали более 2 % ее шлифуемость ухудшается пропорционально повышению содержания ванадия.

Шлифуемость быстрорежущей стали связана с баллом карбидной неоднородности, характеризующим неоднородность распределения и неодинаковость расположения избыточных карбидов в структуре, а также их различие по величине. Для быстрорежущих сталей принята восьмibalльная шкала. Баллы 1 и 2 характеризуют более однородное распределение карбидов и более высокое значение $\sigma_{\text{ш}}$. Износ резцов возрастает на 30...50 % при увеличении карбидного балла с 2 до 5.

Кобальтовые стали содержат интерметаллоиды и кобальтовые соединения, отличающиеся высокой твердостью. Наличие карбидов легирующих элементов, приближающихся по твердости к твердости абразивного материала, затрудняет обработку быстрорежущей стали абразивными кругами. Вместе с тем введение Co уменьшает прочность и вязкость и способствует обезуглероживанию. Поэтому наибольшее количество Co в быстрорежущих сталях составляет 10...12 %.

При одинаковом количестве Co в составе быстрорежущей стали большее количество W способствует росту теплоустойкости и теплопроводности (см. табл. 6). Наиболее известными вольфрамокобальтовыми инструментальными сталями являются: Р9К5, Р9К10, Р18Ф2К5, Р15Ф2К5. Грамотный выбор марки стали этой группы может дать увеличение стойкости в 2 ... 3 раза [4].

Кобальтовые стали Р18Ф2К8М, ПР8М3К3С могут успешно использоваться при обработке высокопрочных сталей с $\sigma_{\text{ф}} < 200$ МПа. Они обладают теплоустойкостью 600...650°C и высокой твердостью (HRC_с 70).

Кобальтовые инструментальные стали рекомендуется использовать при обработке сталей с $\sigma_{\text{ф}} < 1000$ МПа в условиях прерывистого реза-

* Под шлифуемостью понимается свойство материала обрабатываться абразивным инструментом. Шлифуемость характеризуется следующими показателями: режущей способностью абразивного инструмента до появления дефектов (прижогов, трещин) на обрабатываемой поверхности, параметром шероховатости, достижимой точностью размеров и форм. Наиболее легко обрабатываемым считается тот металл, при обработке которого температура повышается меньше при снятии одинакового припуска за тот же промежуток времени.

ния с ударными нагрузками, а также при больших сечениях срезаемого слоя.

Молибденокобальтовые стали (P6M3K5, P6M5K8) имеют хорошую прочность и вязкость, но склонны к обезуглероживанию режущей кромки. Их теплостойкость 630...650°C, твердость HRC 67...68. Имеют более высокую стойкость по сравнению с P18. Так, стали P9M4K8Ф и P18Ф2К8М при прерывистом точении и торцовом фрезеровании сплавов группы VI (ЭИ 833, ЖС6К) [11] показали стойкость в 2...3 раза выше, чем P18 [3].

Ванадиевокобальтовые стали (P10Ф5K5, P12Ф4K5, P10M4Ф3K10, P6M3Ф5K5) хорошо показали себя при обработке жаропрочных и титановых сплавов. У них повышенная теплостойкость и твердость (см. табл. 6). Недостаток - низкая шлифуемость.

Быстрорежущие стали (P18Ф2, P14Ф4, P12Ф3, P9Ф5), содержащие ванадий, обладают повышенной теплостойкостью, твердостью HRC 66...67, лучшей износостойкостью. Могут обеспечить повышение стойкости в 2...2,5 раза по сравнению с P18 при обработке аустенитных сталей (группы III, IV). Стали P18Ф2 и P12Ф3 рекомендуются для обработки высокопрочных сталей (группа VII). Сплавы P14Ф4 и P12Ф3 могут при этом обеспечить больший период стойкости. Их дополнительное легирование молибденом (P6M5Ф3, P6M4Ф4) придает этой группе большую прочность и вязкость при некотором снижении теплостойкости.

Вольфрамомолибденовые стали (P6M3, P6M5, P9M4) при резании с умеренной скоростью и увеличенными подачами по стойкости превышают сталь P18. Они в меньшей степени склонны к обезуглероживанию и окислению, лучше обрабатываются резанием [4]. При микролегировании этих сталей Ti (0,1...0,2%), Nb (0,3...0,6%), Zr (0,1...0,2%) существенно улучшаются режущие свойства. Так, при обработке высокопрочных сталей ($\sigma_B = 150...160$) хорошо показала себя сталь P6M5Ц, по сравнению с P6M5K8, P18Ф2К8М, P6M3X3Ф2, P18. К тому же она оказалась достаточно технологичной и сравнительно недорогой. Стали P6M3 и P6M5 рекомендуются для резания высокопрочных сплавов ($\sigma_B > 1200$ МПа). При этом могут быть назначены большие сечения среза и присутствовать динамические нагрузки.

Для обработки жаропрочных и труднообрабатываемых материалов были разработаны быстрорежущие сплавы высокой теплостойкости. К ним относятся безуглеродистые (B37K25, B18M4K25, B18M7K25) и углеродистые дисперсионно-твердеющие (25B20K25XФ, 3B20K16XФ). Теплостойкость этих сплавов 700...720°C при твердости HRC 68...70. Они хорошо показали себя при обработке титановых сплавов (группы VII) и аустенитных сталей

(группы III и IV). При обработке жаропрочных сплавов (группы V и VI) стойкость может вырасти на порядок. С целью уменьшения балла карбидной неоднородности и улучшения шлифуемости разработаны варианты порошковых быстрорежущих сталей. Порошок получают распылением расплавленной стали в инертной среде и методом порошковой металлургии формируются режущие элементы. Инструмент из порошковой стали может иметь стойкость в 1,5...2 раза выше, чем обычный аналог того же состава. Область использования: крупногабаритные инструменты и инструменты сложной формы [11]. Получили известность марки РМ5К5-МП и РМ3Ф3-МП.

Следует, однако, помнить, что положительные свойства, заложенные в различных марках режущих материалов, проявляются в довольно узком диапазоне по режиму резания и марке обрабатываемого материала. Весьма существенное значение при этом имеет: конструкция инструмента,* грамотная заточка (без прижогов и микротрещин), тщательная доводка режущего лезвия, соблюдение технологии термической обработки.

МИНЕРАЛОКЕРАМИКА И КЕРМЕТЫ

Рассмотренные ранее режущие материалы имеют два существенных недостатка: относительно невысокую теплостойкость (по современным меркам) и использование в их составе дефицитных компонентов (вольфрам, кобальт, тантала и др.). Этих недостатков лишена минералокерамика, состоящая в основном из зерен корунда. Корунд — смесь $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ и $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. В качестве связки используется окись магния MgO в количестве до 1%. Она также препятствует росту кристаллов корунда, так как на качество минералокерамических пластин существенно влияет размер зерна. Средняя зернистость $\sim 2,2$ мкм. С увеличением зерна прочность пластин снижается. Введение в состав керамики окиси циркония ZrO_2 улучшает ее структуру и тем самым повышает прочность.

Наиболее известными отечественными марками оксидной минералокерамики являются ЦМ-332, ВО-13, ВМ 75, пластины которых получают холодным прессованием, спеканием под давлением или литьем под давлением. Свойства этих материалов представлены в табл. 7.

По зернистости минералокерамика разделяется на четыре группы: мелкую (балл 1), среднюю, крупную и грубую (балл 4).

* Под конструкцией инструмента понимается конфигурация державки, форма режущей части, размеры и взаимное расположение режущих кромок относительно державки, вариант присоединения режущей части.

Физико-механические свойства керамики [5]

| Марка, способ изготовления, страна | Минеральная основа, цвет | НУ/НРА, Па/о.р.в. | ρ , г/см ³ | $\sigma_{H1} 10^3$, МПа | $\sigma_{\text{сж}}/10^3$, МПа | Размер зерна, мкм | θ , °C | Примечание |
|------------------------------------|--|-------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------------|-------------------|---------------|--|
| Ци 332, холодное прессование, СССР | $Al_2O_3 \geq 99\%$ $MgO \leq 1\%$ белый | 23/91 | 3,85-3,9 | 0,3-0,35 | - | 4 | 1500 | |
| В0-13, холодное прессование, СССР | $Al_2O_3 \geq 99\%$ белый | -/92 | 3,92-3,35 | 0,45-0,50 | 2,7-3,0 | 3...4 | - | ТУ19-4203-125-81 |
| ВН-75, горячее прессование, СССР | Al_2O_3 черно-серый | -/16 | 3,98 | 0,50 | 2,5-3,0 | 3 | - | |
| 3А 55, холодное прессование, ФРГ | $Al_2O_3 \geq 99,7\%$ белый | 24/- | 3,91 | 0,55 | - | 2,8 | - | |
| БС 620, Швеция | $Al_2O_3 + ZrO_2$ белый | 16,5/- | 3,97 | - | - | 2...3 | - | |
| V-34, горячее прессование, США | Al_2O_3 черный | -/94 | - | 0,690 | - | - | - | |
| В0К-60, горячее прессование, СССР | $Al_2O_3 \geq 60\%$ $ZrO_2 < 40\%$ и др. черный | -/94 | 4,2 | 0,650 | - | 2...3 | 1300 | Маркируется кругом $\varnothing 3$ мм красного цвета |
| В-3, горячее прессование, СССР | | -/93 | 4,3 | 0,55-0,65 | - | 2...3 | 1300 | Маркируется кругом $\varnothing 3$ мм белого цвета |

Окончание табл. 7

| Марка, способ изготовления, страна | Химическая основа, цвет | MV/HA , ГПа/б.р.в. | ρ , г/см ³ | $\sigma_T/10^3$, МПа | $\sigma_{сж}/10^3$, МПа | Размер зерна, мкм | θ , °С | Примечание |
|--|---|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------|------------------|------------|
| ВК-63, горячее прессование, СССР | $Al_2O_3 \geq 60\%$ $ZrO_2 < 40\%$ черный | — 94 | 4,2...4,3 | 0,65...0,70 | — | 2...3 | 1300 | |
| ОНТ-20(кордигит) горячее прессование, СССР | $Al_2O_3 + ZrN$ темно-коричневый | — 90...92 | 4,39 | 0,64 | — | — | — | |
| Widder, горячее прессование, ФРГ | $Al_2O_3 + TiO_2 + ZrO_2$ черный | — 11,3 | 4,12 | 0,65 | 4,8 | 2 | — | |
| С6650, горячее прессование, Швеция | $Al_2O_3 + ZrN + TiC + ZrO_2$ темно-коричневый | — 18,0 | 4,27 | 0,4-0,5 | — | — | — | |
| V-32, горячее прессование, США | $Al_2O_3 + карбиды$, черный | — 91,5...96 | — | 0,83 | — | — | — | |
| Слинт-Р, горячее прессование, СССР | Si_3N_4 и др. коричневый | — 20...31 93...96 | 3,2...3,4 | 0,5-0,7 | 2,5 | — | 1600 | |
| "Фельдшпале" 8/4, 100, ФРГ | Si_3N_4 фиолетовый | — 21 | — | — | — | — | — | |
| С6680, "Сандвик" "Норомант", Швеция | $Si_3N_4 + Al_2O_3 + TiO_2$ серый | — 14,5 | 3,17 | — | — | — | — | |
| Мюн 2000, горячее прессование, США | $Si_3N_4 + Al_2O_3$ | — 16(200) 13(1000) | — | 1,2 | — | — | — | |

Достоинства минералокерамики: низкая стоимость, высокая твердость, теплостойкость ($\sim 1100^{\circ}\text{C}$) и химическая инертность к большинству современных материалов, уменьшающая адгезию на передней поверхности. Это в свою очередь уменьшает усадку стружки, температуру в зоне резания и способствует образованию более качественной поверхности, что весьма существенно при обработке жаропрочных и нержавеющей сталей.

Недостатки: низкие теплопроводность, ударная вязкость и предел прочности на изгиб. Отсюда область применения — чистовые операции при обработке нетермообработанных конструкционных сталей на повышенных скоростях резания в условиях высокой жесткости и точности системы СПИД. Крайне нежелателен высокочастотный спектр колебаний, способствующий выкрашиванию режущей кромки, и тепловые удары (резкие перепады температур), ведущие к развитию микротрещин в пластинах. Для уменьшения термических нагрузок минералокерамические резцы перед работой рекомендуются подогревать.

Существенную роль в повышении стойкости минералокерамических пластин играет метод крепления пластины на резце. Предпочтительными являются различные методы механического крепления пластин. Особое внимание при этом уделяется точности изготовления посадочных мест.

Перспективным способом крепления является приклеивание пластин к державке высокопрочным и термостойким клеем, обеспечивающее нулевой уровень остаточных напряжений в режущей пластине.

Крепление пластины в державке должно обеспечивать в процессе резания действие на пластину сжимающих напряжений. Особое внимание следует уделять анализу на отсутствие изгибных напряжений в пластине.

Крепление пластины в державке должно обеспечивать в процессе резания действие на пластину сжимающих напряжений. Особое внимание следует уделять анализу на отсутствие изгибных напряжений в пластине.

Достоинства минералокерамики в полной мере возможно использовать лишь улучшив ее физико-механические характеристики. Это улучшение осуществлено введением в состав керамики металлической связки. Эти режущие материалы назвали керметами (ВСК60, В3, ВСК63, ОНТ-20). Они состоят из окиси алюминия и карбидов вольфрама и молибдена. Пластины керметов (оксиднокарбидной керамики) получают методами порошковой металлургии. Естественно, у керметов прочностные свойства ниже, чем у твердых сплавов, а теплостойкость ниже, чем у минералокерамики (см. табл. 7). Наибольшую циклическую прочность имеет ВСК63, наименьшую — В3. Но они могут применяться уже при черновой обработке и обработке с механическими нагрузками. Их применяют при обработке закаленных сталей.

В качестве особой группы можно выделить керамику на основе нитрида кремния (Si_3N_4) с добавками Al_2O_3 , ZrO_2 , TiC , Y_2O_3 , ZrO_2 *. Отечественная марка - силинит-Р. К достоинствам режущего материала относятся: высокая твердость, стабильность физико-механических свойств, устойчивость к адгезионному и диффузионному износу, меньшая (по сравнению с оксидной керамикой) склонность к образованию микротрещин, отсутствие дефицитных компонентов.

Среднее положение между твердыми сплавами и быстрорежущими сталями занимает материал под названием стеллит. Он содержит до 50% Co . Этот режущий материал используется обычно как наплавочный.

Оксидную керамику (ПМЗ32, В0-13, ВШ-75) следует использовать для чистовой и получистовой обработки сырых сталей ($V \ll 800 \dots 1000$ м/мин). Силинит-Р - для получистовой обработки чугунов. Оксидно-карбидную керамику (В0К60, В0К63, В0К-71, В3, ОНТ-20) - для чистовой, получистовой и прерывистой обработки закаленных сталей, а В3 и ОНТ-20 хорошо показали себя при обработке сплавов на медной основе. Положительные результаты получены при чистовой и получистовой обработке никелевых сплавов инструментом, оснащенным пластинами силинита-Р и ОНТ-20 [5].

ПРИРОДНЫЕ АЛМАЗЫ И СИНТЕТИЧЕСКИЕ СВЕРХТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Природным алмазам и синтетическим сверхтвердым материалам (СТМ) в настоящее время уделяется очень серьезное внимание.

Известно, что алмаз представляет собой углерод с небольшим количеством примесей (алюминий, кальций, магний, кремний). Физико-механические свойства представлены в табл.8. Для процесса резания особенно важны износостойкость и твердость. Это самый твердый минерал. Свойства алмаза в различных направлениях по отношению к кристаллу различны. Алмаз хрупкий материал, что объясняется наличием плоскостей спайности. Для правильной эксплуатации кристалла необходимо определить направление наибольшего его сопротивления износу. К недостаткам алмаза как режущего материала можно отнести: низкий σ_u , хрупкость и сходство со сталями.

В синтетических алмазах (АСПК, АСЕ, СКМ, СВЕН и др.) в качестве примесей следует отметить наличие металла - катализатора, графита и азота. По технологии получения СТМ можно разделить [5] на две груп-

* Zr - цирконий, Y - иттрий.

Физико-механические свойства СТМ

| Марки СТМ | ρ , г/см ³ | HV/HRA , ГПа/б.р.Е | $\sigma_{\text{изог}}/10^5$, МПа | $\sigma_p/10^3$, МПа | $E/10^3$, МПа | α , Вт/(м·К) | Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹ | Удельная теплоемкость C_p , Дж/(кг·К)·град | Теплостойкость θ , °С |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------|-------------------|-------------------------------|---|---|---------------------------------|
| Естественный алмаз | 3,01-3,56 | 100 110 | 2,0 | 0,3 | 720-930 | 138,27 | 0,9-1,45 | 480-720 | 650-750 |
| Композит О1 (эльбор-ГМ) | 3,4 | 15...18 | 2,7 | 0,59-0,685 | 840 | 60-80(77°С) 160-180(627°С) | - | - | 1200 |
| Композит О2 (белбор) | - | 15...18 | 4-6,5 | 0,59-0,685 | - | - | - | - | 1200 |
| Композит О5 | 4,3 | 45 | 2,2 | 0,47 | 620 | - | - | - | - |
| Композит О9 (ПНБ) | - | 39 | 3,4-4,9 | 1,0 | - | - | - | - | 1400 |
| Композит I0 (гексанит-Р) | 3,28-3,36 | 3,5...5,4 | 2,6 | 1,0-1,2 | 712 | 25-30(77°С) 40-60(627°С) | - | - | - |
| Боразон (США) | 3,48 | 45 | - | - | - | - | 5,6 | - | - |
| Амсорит (Великобритания) | - | 40,5 | - | 0,57 | 680 | 105...135 | - | - | 1300 |

Окончание табл. 8

| Марка ст. | ρ , г/см ³ | HV/HRA , ГПа/б.р.в | $\sigma_{\text{тис}}/10^3$, МПа | $\sigma_{\text{н}}/10^3$, МПа | $E/10^3$, МПа | λ , Вт/м·К | Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^{-6}$, 1/К | Удельная теплоемкость C_p , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot 10^3$ | Темперостойкость θ , °С |
|------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|------------------------|--|--|-----------------------------------|
| Сталь 60Х (шпон) | 4,2 | 40,5 | - | - | - | 37,8 | 5,6 | 628 | - |
| Железо (чугун) | - | 50...40 | - | 0,8 | - | 21(400°С) 30(400°С) | 7,9 | 797(40°С) 1515(400°С) | - |
| АСБ (бетон) | 3,5...3,9 | 75...80 | 0,21- -0,40 | 0,5...1,0 | - | - | - | - | 500-720 |
| АСБ (карбонат) | 3,5...4,0 | 80...85 | 0,785- 1,175 | 0,5...1,0 | - | - | - | - | 700-800 |
| СБЖ | 3,34-3,46 | 70...100 | 8-10 | - | - | - | - | - | 350 |
| Карбонит | 3,2...3,4 | 39...44 | 4,42- -5,88 | - | - | - | - | - | - |
| Долмакс (кар) | - | 80 | - | - | - | - | - | - | 700 |
| Сидант | - | 50 | - | 1,1 | 841 | - | - | - | 700 |
| Бетонапонд | 3,1...3,48 | - | - | - | - | - | - | - | 800 |

ли: поликристаллы алмаза, получаемые в результате фазового перехода графита в алмаз (АСПК, АСБ); поликристаллы, получаемые спеканием алмазных зерен (СВЕН, карбонит, СКМ и зарубежные компак, сумидиа, мегадаймонд, синдит). Все они по твердости уступают природному алмазу (см. табл. 8).

Перспективной является технология получения двухслойных заготовок ($\varnothing 3, 6...4, 6$; $L = 2...3$ мм), получаемых спеканием алмазного порошка на твердосплавной основе (СВЕН). Толщина слоя СТВ 0,5...0,8 мм. Из них изготавливаются напайные инструменты, подлежащие переточке,^{**} и инструменты с мехкреплением режущих пластин.

В нашей стране выпускают алмазные резцы, оснащенные поликристаллами АСПК. Поликристалл запаивается в стальную вставку, которая может быть использована в токарных (проходных, подрезных, расточных) резцах и торцовых фрезях. Недостаток вставок с АСПК — значительный разброс стойкости и низкая прочность закрепления кристалла. Выпускаются также вставки с АСБ. Основные характеристики поликристаллов синтетических алмазов для режущего инструмента приведены в табл. 9.

Эльбор (карбонит, боразон, КНБ) — инструментальный материал, не имеющий аналогов в природе. Он близок по твердости к алмазу (см. табл. 8). Нитрид бора, близкий по свойствам графиту, под действием давления ~ 10000 МПа и температуры $\sim 2500^\circ\text{C}$ превращается в вещество высокой твердости с кубической решеткой. В настоящее время различают поликристаллы сверхтвердых материалов, полученные на основе графитоподобного (КНБ) и вюритоподобного (КНЕ) нитрида бора. К первой группе относятся композит О1 (эльбор РМ) и композит О2 (белбор). Ко второй — однослойный и двухслойный композит Ю (гексанит-Р); модификации композита О3 (КТНБ, КТНБ-1, 2) японский вюрин.

Кроме технологии получения СТВ и ВМ на основе физико-химического процесса фазового перехода в кубическую (сфалеритную) модификацию (ВНсф) существует технология спекания частиц ВНсф. Этим способом получают СТВ: композит О5, киборит, ниборит.

Из физико-механических свойств эльбора следует выделить теплостойкость $\sim 1300...1500^\circ\text{C}$ (в зависимости от зернистости) и химическую стойкость относительно окисления, а также отсутствие в его составе железа и углерода, что весьма благоприятно при обработке современных авиационных легированных сталей. Композиты О1 и О2 рекомендуется применять для резания и чистового точения без черновой и торцового фрезерования заготовками стали ($t = 0, 0, 0, 0, 0$ мм). Композит О5 — для пред-

^{**} Торцевыми двухслойными пластинами режут специальными заточенными станочными инструментами.

Характеристики отечественных поликристаллов СТМ [5]

| Марки поликристалла | Микро- твердость HV, ГПа | $\sigma_{\text{жм}}/10^3$, МПа | | $E/10^3$, МПа | Темпостой- кость θ , °C | Форма, размеры, мм |
|--|--------------------------------|---------------------------------|-----|-------------------|--------------------------------------|--|
| | | 0,4 | 0,8 | | | |
| АСБ-1; АСБ-5; АСБ-6; АСБ-Р | 90 - 100 | 0,4...0,8 | 0,8 | 850 | 700 | Сфера, полусфера, цилиндр (3...6) x (2,5...6,5) |
| АСПК, АСПВ | 100 | 0,4...0,8 | 0,8 | 850 | 700...900 | Цилиндр (4...4,5) x (4...5) |
| СВ, СЭС, СВАБ | 100 | 5,0 | 850 | 850 | 700 | Цилиндр 4 x 4 |
| СКМ | 100 | 5,0 | 850 | 850 | 700 | Цилиндр (3...8) x (3...5) |
| АМК | 70 - 80 | 4,5...5,0 | - | - | 850...900 | Цилиндр (3...6) x (1,5...4,0) |
| АМК-Т | 82...86 | 5,0...5,5 | - | - | 750 | Цилиндр (3...6) x (1,5...4) |
| ДАП; ДИАМЕТ двухслой- ные пластины | 100 | 8,0 | - | - | 700 | Диск (5...14) x (3...6) |
| АМК-25; АМК-27 двух- слойные пластины | 75...84 | 5,0 | - | - | 650...700 | Цилиндр (3...8) x (1...5) |
| СВЕН (ТУ 19-4206- -113-80) | - | - | - | - | - | Многогранные пластины трехгранной, квадратной, ромбической (800) и круглой формы ($Z = 4...8$) |

варительного и окончательного точения без удара закаленных сталей ($HRC_s \leq 60$) с $t = 0,05 \dots 3,0$. Композиты IO и IOД – для полустачного точения с ударом и без ($t = 0,05 \dots 3,0$); для прерывистого точения; для торцового фрезерования стали любой твердости. Поликристаллические алмазы (АСБ, АСПК, СВЕН) рекомендуются для чистовой обработки цветных металлов и пластмасс.

Отмечено, что вставки из композита ОI сохраняют в процессе износа неизменный радиус округления режущей кромки ($r \approx 20 \dots 50$ мкм), Внедрение лезвийного инструмента из СТМ и керамики даст возможность существенно сократить машинное время и избежать прижогов и микротрещин на обработанной поверхности.

Большая часть производимых СТМ используется в качестве абразивных материалов.

АБРАЗИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В качестве абразивных материалов как режущей части абразивного инструмента используются: электрокорунд, карбид кремния, карбид бора, кубический нитрид бора, естественный и искусственный алмаз. Их физико-механические свойства представлены в табл. IO. Все эти вещества повышенной твердости. В абразивном инструменте используются в измельченном состоянии. В зависимости от размера алмазного зерна различают: шлифпорошки (3000...40 мкм), микропорошки (80...1 мкм), субмикропорошки (1,0...0,1 мкм). Зернистость обозначается дробью: в числителе размер ячейки сита, через которую зерна проходят, а в знаменателе размер ячейки, на которой зерна задерживаются.

Естественный алмаз (С) – самый твердый в природе минерал. Около 85 % его идет на производственные нужды. Чаще используется в измельченном виде. Шлифпорошки из естественных алмазов обозначаются буквой А и цифрой, соответствующей 0,1 процентного содержания зерен изометрической * формы. Например: А1; А2; А3. Шлифпорошки из природных дробиных алмазов с содержанием 10, 20 и 30 % зерен изометрической формы соответственно.

Искусственный алмаз по свойствам идентичен природному. Шлифовальный материал из алмаза используется во всех видах абразивного инструмента. Порошки из синтетических алмазов обозначаются буквами АС и цифрой, характеризующей прочность на сжатие зерен данного мате-

* Изометричным считается зерно, у которого коэффициент формы не превышает 1,3. Коэффициент формы представляет отношение длины проекции зерна к ширине проекции.

Таблица 10
Физико-механические свойства абразивных материалов (7,87)

| Абразивный материал, марка | Плотность ρ , г/см ³ | Микротвер- дость HV , ИПа | Механичес- кая проч- ность R_{H} , Н | Теплостой- кость θ , °С | Относитель- ная режущая способность | Удельная теплопро- водность λ , Вт/м·°С |
|--|--|-----------------------------------|--|--------------------------------------|---|--|
| Алмаз, А | 3,48-3,56 | 100 | - | 700-800 | 1,0 | 146,6 |
| Алмаз синтетический, АС | 3,47-3,56 | 84,4-98,1 | 14,7-55,9 | 700-800 | 0,75-0,77 | - |
| Алмаз синтетический поли- кристаллический, АР | - | - | - | - | - | - |
| Слюда, Ш1 | 3,45-3,39 | 78,5-98,1 | 7,6-9,0 | 1400-1500 | 0,58-0,64 | 41,9 |
| Слюда, ШС | - | - | 2,3 ^{***} | - | - | - |
| Кубический нитрид бора, К0 | - | - | 2,9 ^{***} | - | - | - |
| Кубический нитрид бора, КР | - | - | 6,1 ^{***} | - | - | - |
| Гексанит - А | - | - | 26 | - | - | - |
| Электрокорунд нормальный 12А...13А | 3,85...3,95 | 18,9-19,6 | 8,8-10,7 | 1250-1300 | 0,12 | 19,7 |
| Электрокорунд белый; 22А...23А | 3,9 - 3,95 | 19,6-20,9 | 8,8-10,4 | 1700-1800 | - | 19,7 |
| Электрокорунд хромистый 32А, 33А, 34А | - | - | - | - | - | - |
| Электрокорунд титанистый 37А | - | - | - | - | - | - |

| Абразивный материал, марка | Плотность ρ , г/см ³ | Широта дуги α , град | Межаме- лочная проч- ность R_c , Н | Твердость по С, РС | Относитель- ная режущая способность | Удельная теплопро- водность λ , Вт/мК |
|--|--|-----------------------------------|---|-----------------------------|---|--|
| Электрокорунд ширкомимевый 38А | 4,05-4,15 | 22,6-23,5 | 589*** | 1900-2000 | - | - |
| Электрокорунд 43А...45А | 3,94-4,0 | 22,6-23,5 | 11,7-13,7 | 1700-1800 | 0,25 | - |
| Электрокорунд хромитата- нический 51А...54А | 3,95-4,0 | 19,6-22,6 | 10,3-10,8 | 1750-1850 | - | - |
| Карбид кремния черный 52С...55С | 3,15-3,25 | 32,4-35,3 | 11,0-14,7 | 1300-1400 | 0,25 | 15,5 |
| Карбид кремния зеленый 620...64С | 3,15-3,25 | 32,4-35,3 | 11,0-14,7 | 1300-1400 | 0,45 | - |
| Карбид бора КВ | 2,48-2,52 | 39,2-44,2 | - | 700-800 | 0,4-0,6 | 15,9 |

* Показатель прочности шлифпорошков из синтетических алмазов определяют по величине статической нагрузки, вызывающей разрушение алмазного зерна, помещенного между двумя параллельными пластинами.

** Для зернистости 200/160.

*** Для зернистости 125, остальные данные для зернистости 25.

риала. Например, АС2 - шлифпорошок повышенной хрупкости, Р-2Н. АС50 - шлифпорошок повышенной прочности, Р-50Н.

Промышленность выпускает в узком диапазоне зернистости следующие шлифпорошки: АС2 (160/125...50/40); АС4 (200/160...50/40); АС6 (250/200...50/40); АС15 и АС20 (800/630...50/40); АС20Т, АС32Т (500/400...50/40); АС32, АС50 (800/630...50/40); АС40, АС40Т, АС50Т, АС65Т, АС80Т, АС100, АС100Т (500/400...80/63); АС65, АС80 (630/500...80/63). Буква Т означает, что шлифпорошок является модификацией основной марки и характеризуется повышенной термической и механической прочностью. Шлифпорошки из синтетических алмазов применяются для изготовления инструментов на органических керамических и металлических связках, применяемых для обработки твердых сплавов и сталей на чистовых и доводочных операциях. Кроме этого, они применяются для правки шлифовальных кругов, обработки корунда и других особо твердых материалов.

Шлифпорошок из поликристаллического алмаза имеет в обозначении третью букву: В - баллас, К - карбонадо, С - спеки. Например, АРК4 - шлифпорошок из синтетических поликристаллических дробленых алмазов типа карбонадо, показатель прочности $P = 4 \text{ Н}$ (см. табл.9). Шлифпорошки АРВ1, АРК4, АРС3 из синтетических поликристаллических алмазов выпускаются в узком диапазоне зернистости 200...4. Применяются для инструментов, работающих в тяжелых условиях.

Алмазные микро- и субмикророшки нормальной абразивной способности обозначаются буквами АМ и АСМ, а повышенной производительности - буквами АН и АСН. К обозначению субмикророшкови дополнительно добавляется цифра, обозначающая процентное содержание зерен крупной фракции. Например: АСН - микророшок из синтетических алмазов с повышенной абразивной способностью; АМ1, АМБ - субмикророшки из природных алмазов с содержанием крупной фракции до 1 или 5 %. Микророшки АМ, АСМ, АН, АСН выпускаются зернистостью: 60/40, 40/28, 28/20, 20/14, 14/10, 10/7, 7/5, 5/3, 3/2, 2/1, 1/0. Субмикророшки АМ1, АМБ, АСМ1, АСМБ выпускаются зернистостью: 0,7/0,3; 0,5/0,1; 0,3/0; 0,1/0. Микророшки применяются для доводки и полирования деталей из закаленных сталей, сплавов, керамики, стекла, корунда. Субмикророшки используются для сверхтонкой доводки и полирования поверхности изделий, в том числе полупроводниковых материалов [7].

Новым направлением следует считать создание абразивных инструментов из алмазных зерен, имеющих покрытие. В обозначении таких

инструментов после зернистости проставляются индексы: К, КМ, А1, А2, А3. Они означают следующее:

К - покрытие карбидом вольфрама (отношение массы алмазного порошка к массе покрытия 1:0,15);

КМ - покрытие пленками сплавов, содержащими кремний (SiO_2) (масса покрытия составляет 20...60 % от массы алмаза);

А1, А2, А3 - покрытие карбидометаллической пленкой; отношение массы алмазного порошка к массе покрытия составляет 1:0,5; 1:0,75 и 1:1 соответственно.

Шлифпорошки с покрытиями применяются в инструментах на органических связках.

Кубический нитрид бора (BN) - уникальный по свойствам абразивный материал, использующийся во всех видах абразивного инструмента. Для эльборовых абразивных зерен принято несколько иное разделение на группы: шлифзерна (500...160 мкм), шлифпорошки (120...40 мкм) и микрошлифпорошки (63...1 мкм). Промышленность производит следующие марки эльбора [8]:

КО - обычной механической прочности;

КП, ККВ - повышенной прочности;

КД - поликристаллический;

КОМ, КОС - с покрытиями металлизированными и стекловидными.

Выпускается также кубический нитрид бора: КР - "кубонит" монокристаллический; КРМ - "кубонит" металлизированный.

Механическая прочность порошка из гексанида-А изменяется от 52 до 3,3 Н с изменением зернистости от 500/400 до 50/40. Для порошка "КО" разрушающая нагрузка изменяется с $P = 2,3$ Н до $P = 1,8$ Н при изменении зернистости с 200/160 до 80/63. Для порошка КП изменение разрушающей нагрузки с 3,1 Н до 2,4 Н при изменении зернистости с 315/250 до 80/63. Для порошка кубонита марки "КО" при изменении зернистости с 200/160 до 50/40 разрушающая нагрузка меняется с $P = 2,9$ Н до $P = 1,7$ Н. Для кубонита марки "КР" разрушающая нагрузка уменьшается с 2,7 Н до 0,8 Н при изменении зернистости с 200/160 до 50/40.

Марка "КО" применяется для изготовления инструментов на органической связке. "КП" и "ККВ" - на органической, керамической и металлической связке. "КД" - используется в инструментах на металлической связке.

Электрокорунд состоит в основном из α модификации Al_2O_3 . Производится в электропечах из высокоглиноземистого сырья. Электрокорунд в круге абразивные материалы, кроме СТМ, по размеру зерна раз-

деляются на шлифзерна (2000...160 мкм), шлифпорошки (125...40 мкм), микрошлифпорошки (33...14 мкм) и тонкие микрошлифпорошки (10...3 мкм).

Зернистость шлифзерна и шлифпорошка обозначается цифрой, которая равна 0,1 нижнего предела размеров зерен в мкм. Зернистость микрошлифпорошков обозначается буквой М и цифрой, которая равна верхнему пределу размеров зерен основной фракции в мкм. Ряд зернистости шлифовальных материалов следующий: 200, 160, 125, 100, 80, 63, 50, 40, 32, 25, 20, 16, 12, 10, 8, 6, 5, 4, М63, М50, М40, М28, М20, М14, М10, М7, М5.

Обозначение зернистости дополняется индексом зернистости (В, П, Н, Д), который отражает процентное содержание основной фракции (табл. II). Например, 160П означает размер шлифзерна 1600...2000 мкм с содержанием основной фракции 55 %; М28Н означает размер зерен микрошлифпорошка 28...20 мкм с содержанием основной фракции 45 %.

Т а б л и ц а II

Содержание основной фракции в зависимости от зернистости [7]

| Индекс | Минимальное содержание основной фракции, % | | | | |
|--------|--|-----|---------|---------|--------|
| | 200-8 | 6-4 | М63-М28 | М20-М14 | М10-М5 |
| В | - | - | 60 | 60 | 55 |
| П | 55 | 55 | 50 | 50 | 45 |
| Н | 45 | 40 | 45 | 40 | 40 |
| Д | 41 | - | 43 | 39 | 39 |

Нормальный электрокорунд содержит 93-95 % Al_2O_3 . Отличается высокой прочностью и вязкостью. Используется очень широко, особенно на обдирочных операциях. Выпускается зернистостью М5...200. Белый электрокорунд состоит из 98...99 % Al_2O_3 . Область применения: абразивный инструмент, шлифовальные шкурки, обработка свободным зерном. Выпускается зернистостью М5...80. Электрокорунд, легированный хромом и титаном, имеет лучшие абразивные свойства по сравнению с электрокорундом нормальным. Используется для шлифования углеродистых и конструкционных сталей. Хромотитанистый электрокорунд выпускается зернистостью 3...200. Микроциевый электрокорунд хорошо показал себя в абразивных инструментах на обдирочных операциях. Монокорунд, состоящий из электрокорунда в виде монокристаллов, обладает высокими механическими и режущими свойствами. Используется для шлифования

труднообрабатываемых сталей и сплавов. Выпускается зернистостью 6...80. Из новых материалов на базе корунда следует отметить сфери- и формокорунды [8]. Сферокорунд содержит 99 % Al_2O_3 . Производится в виде полых сферических зерен, идущих на изготовление кругов для обработки цветных металлов, кожи, резины, пластмасс. При работе полые зерна легко разрушаются и образуют новые острые режущие кромки, что весьма благоприятно для процесса шлифования. Выпускается зернистостью 50...250. Формокорунд состоит из 80...87 % Al_2O_3 . Содержит до 1,5 % Fe_2O_3 . Зерна имеют цилиндрическую ($\varnothing 1,2...2,8$) x ($3,8...8$ мм) или призматическую форму ($1,2...2,8$ мм) x ($3,7...8$ мм). Область применения - тяжелые обдирочные работы.

Карбид кремния (SiC) в зависимости от количества примесей имеет зеленый или черный цвет. Идет на изготовление всех видов абразивного инструмента. Зеленый карбид кремния выпускается зернистостью М1...80, черный - М5...160.

Карбид бора состоит из 84...93 % B_4C и примесей бора, оксида бора, графита. Из-за хрупкости зерен используется в виде порошков и паст для обработки твердосплавного инструмента. Выпускается зернистостью М1...16.

Библиографический список

1. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты: Учебник для вузов. 3-е изд. Киев:Вища шк., 1986. 455 с.
2. Грановский Г.Н., Грановский В.Г. Резанье металлов. М.:Высш. шк., 1985. 304 с.
3. Подураев В.Н., Камалов Э.С. Физико-химические методы обработки. М.:Машиностроение, 1973. 346 с.
4. Геллер К.А. Инструментальные стали. 4-е изд. М.:Металлургия, 1975. 504 с.
5. Режущие инструменты, оснащенные сверхтвердыми и керамическими материалами и их применение:Справочник /З.П.Медь, Г.В.Боровский, Г.М.Ипловитов. М.:Машиностроение, 1987. 320 с.
6. Металлорежущий инструмент: Ч.1. Резцы. Каталог/ЭНИИнструмент. М.:ВНИИИМР, 1986. 148 с.
7. Канук В.А., Зерешагин А.Б. Справочник шлифовщика. М.:Машиностроение, 1988. 480 с.
8. Справочник инструментальщика/Под общ.ред. И.А.Ординарцева. М.:Машиностроение, 1987. 243 с.

9. Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент: Справочник / В.С.Самойлов, Э.Ф.Эфманс, В.А.Фальковский и др. М.:Машиностроение, 1988. 368 с.

10. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: Справочник / Я.Л.Гуревич, М.В.Горохов, В.И.Захаров и др. М.:Машиностроение, 1986. 240 с.

11. Белецкий Д.Г. и др. Справочник токаря-универсала /Под ред. М.Г.Шеметова. М.:Машиностроение, 1987. 560 с.

ВЫПОЛНЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ "РЕЗАНИЕ, СТАНКИ, ИНСТРУМЕНТЫ"

Раздел "Режущие материалы"

Составитель С м о л и н Владимир Дмитриевич

Редактор Н.Д.Ч а й н и к о в а
Техн.редактор Н.М.К а л е н ю к
Корректор Н.Д.Ч а й н и к о в а

Подписано в печать 10.05.90. Формат 60x84 1/16.
Бумага оберточная белая. Печать оперативная.
Усл.п.л. 2,1. Усл.кр.-отт. 2,2. Уч.-изд.л. 2,0.
Тираж 500 экз. Заказ № 3120. Бесплатно.

Ку"бшевский" ордена Трудового Красного Знамени авиационный институт имени академика С.П.Королева. 443086, Ку"бшев, Московское шоссе, 34.

Типография им. Э.П.Мяги Ку"бшевского полиграфического объединения. 443090, Ку"бшев, ул.Венцека, 60.