

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
"Воронежский государственный технический университет"

Кафедра автоматизированного оборудования
машиностроительного производства

**СОВРЕМЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению контрольных работ
для студентов направления подготовки бакалавров
15.03.01 «Машиностроение»
(профиль «Технологии, оборудование и автоматизация
машиностроительных производств»)
заочной формы обучения

Воронеж 2022

УДК 621.01 (07)
ББК 34.5я7

Составитель

д-р техн. наук, проф. С. Ю. Жачкин

Современные инструментальные материалы в машиностроении: методические указания к выполнению контрольных работ для студентов направления подготовки бакалавров 15.03.01 «Машиностроение» (профиль «Технологии, оборудование и автоматизация машиностроительных производств») заочной формы обучения / ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет; сост. С. Ю. Жачкин. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022. - 30 с.

В методических указаниях изложены требования и общие вопросы по выполнению контрольных работ, рассматриваются вопросы обеспечения инструментальным материалом современных типовых конструкций металлорежущего инструмента. Приведены варианты работ для самостоятельного выполнения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ_КР_СИМвМ.pdf.

Ил. 4. Табл. 8. Библиогр.: 4 назв.

УДК 621.01(07)
ББК 34.5 я7

Рецензент – С. Н. Яценко, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры автоматизированного оборудования машиностроительного производства ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

Цель работы: изучить классификацию, маркировку, свойства и область применения инструментальных материалов.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Во время выполнения контрольной работы по методическим указаниям и рекомендуемой литературе изучить общие принципы маркировки инструментальных материалов; принципы выбора инструмента, изготовленного из различных инструментальных материалов, ознакомиться с заданием и материалом по данной работе.

2. Во время занятия определить, используя справочную литературу, основные свойства, химический состав и применение некоторых марок инструментальных материалов по заданию преподавателя.

Задание

1. Расшифровать марки, дать описание свойств и область применения инструментальных материалов (приложение, вариант № ...).

2. Марки материалов для расшифровки, описания свойств и области применения задаются преподавателем.

Содержание отчёта

Таблица 1 - Форма отчёта

Марка материала	Химический состав материала	Основные свойства материала	Применение

При выполнении задания результаты работы заносятся в табл. 1.

1 ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ

Работоспособность инструмента может быть обеспечена только в том случае, если его рабочая часть выполнена из материала, обладающего комплексом определенных физико-механических свойств. Материалы, в той или иной мере отвечающие требованиям этого комплекса и способные осуществлять резание, называются инструментальными. Рассмотрим основные физико-механические свойства инструментальных материалов.

Твердость. Чтобы внедриться в поверхностные слои обрабатываемой заготовки, материал рабочей части инструментов должен иметь высокую твердость, которая должна быть примерно в два раза выше, чем у обрабатываемого металла. Твердость инструментальных материалов может быть природная, т. е. свойственная этому материалу при его образовании и может быть получена специальной обработкой. Так, инструментальные стали поставляются с металлургических заводов в отожженном состоянии и в этом состоянии они легко поддаются обработке резанием. Механически обрабо-

таные инструменты подвергают термообработке, шлифованию и заточке. В результате термообработки существенно повышаются прочность и твердость инструментальных сталей. Твердость термообработанных инструментальных сталей измеряется по шкале С Роквелла и выражается в условных единицах HRCэ. При твердости термообработанных инструментов, изготовленных из инструментальных сталей, в пределах 63...64 HRCэ достигаются наиболее устойчивая их работа и наименьшая изнашиваемость лезвий. При меньшей твердости возрастает изнашиваемость лезвий инструментов, а при большей твердости - лезвия начинают выкрашиваться из-за чрезмерной хрупкости.

Твердые сплавы, минералокерамика и применяемые для изготовления режущих частей инструментов синтетические инструментальные материалы имеют высокую природную твердость, существенно превышающую твердость термообработанных инструментальных сталей. Твердость минералокерамики и твердых сплавов измеряется по шкале А. Роквелла и находится в пределах 87...93 HRA. Твердость синтетических инструментальных материалов настолько велика, что сопоставима с твердостью природного алмаза. Поэтому оценку твердости этих материалов производят по их микротвердости, которая находится в пределах $H_{\mu} = 85...94$ ГПа.

Конструкционные металлы, имеющие твердость 30...35 HRCэ, удовлетворительно обрабатываются инструментами, выполненными из инструментальных сталей, термообработанных до 63...64 HRCэ, т. е. при отношении твердостей, примерно равном двум. Конструкционные металлы, термообработанные до 45...55 HRCэ, могут быть обработаны твердыми сплавами. Синтетические инструментальные материалы благодаря своей высокой твердости способны производить обработку закаленных сталей.

Прочность. В процессе резания на рабочую часть инструментов действуют силы резания, достигающие значений более 10 кН. Под действием этих сил в материале рабочей части возникают большие напряжения. Чтобы эти напряжения не приводили к разрушениям рабочей части, инструментальные материалы должны быть достаточно прочными.

Из всех инструментальных материалов наилучшим сочетанием прочностных характеристик обладают инструментальные стали. Отношение между их пределами прочности на изгиб и растяжение равно 1,3...1,6, а отношение между пределами прочности на сжатие и растяжение – 1,6...2,0. Благодаря этому рабочая часть инструментов, выполненных из инструментальных сталей, успешно выдерживает сложный характер нагружения и может работать на сжатие, кручение, изгиб и растяжение. Затем в порядке убывания прочностных характеристик следуют: твердые сплавы, минералокерамика, синтетические инструментальные материалы и алмазы. Все эти материалы достаточно хорошо выдерживают сжимающие напряжения. Однако их существенным недостатком является низкое значение прочности на изгиб ($\sigma_{и} = 0,3...1,0$ ГПа). Предел же прочности на растяжение у этих материалов настолько мал, что вообще не позволяет производить обработку резанием при действии в них растягивающих напряжений. При использовании этой группы инструментальных материалов необходимо за счет соответствующей геомет-

рии рабочей части инструмента добиваться, чтобы в процессе резания в них действовали только сжимающие напряжения.

Температуростойкость. Интенсивное выделение теплоты в процессе резания металлов ведет к нагреву лезвий инструмента, Причем наибольшая температура развивается на контактных поверхностях лезвий. Нагрев до температуры ниже некоторого ее критического значения $\theta_{кр}$, разного для различных инструментальных материалов, не сказывается на их структурном состоянии и твердости. После нагрева вплоть до этой температуры и охлаждения инструментальные материалы не изменяют своих свойств. При нагреве выше критической температуры в инструментальных материалах происходят структурные изменения и связанное с этим снижение твердости. Критическая температура $\theta_{кр}$ называется температурой красностойкости. В основе термина «красностойкость» лежит физическое свойство металлов в нагретом до 600 °С состоянии излучать темно-красный свет. По сути своей термин «красностойкость» означает температуростойкость инструментальных материалов. Различные инструментальные материалы имеют температуростойкость в широких пределах – от 220 до 1500 °С. В порядке убывания температуростойкости инструментальные материалы располагаются в следующем порядке: а) синтетические инструментальные материалы; б) минералокерамика; в) твердые сплавы; г) инструментальные быстрорежущие стали; д) инструментальные углеродистые стали.

Теплопроводность. Увеличение работоспособности режущего инструмента может быть достигнуто не только за счет повышения температуростойкости инструментального материала, но и благодаря улучшению условий отвода теплоты, выделяющейся в процессе резания на лезвии инструмента и вызывающей его нагрев до высоких температур. Чем большее количество теплоты отводится от лезвия вглубь массы инструмента, тем ниже температура на его контактных поверхностях. Теплопроводность λ инструментальных материалов зависит от химического состава и температуры θ нагрева. Приведенные на рис. 1 данные позволяют сделать вывод о том, что теплопроводность, например, инструментальных быстрорежущих сталей повышается с увеличением температуры до 650...750 °С и уменьшается при нагреве свыше этих температур. Присутствие в стали таких легирующих элементов, как вольфрам и ванадий, снижает теплопроводящие свойства инструментальных сталей, а легирование титаном, молибденом и кобальтом, наоборот, заметно повышает. Это же относится и к твердым сплавам, в состав которых входит карбид титана. Они более теплопроводны, чем твердые сплавы, содержащие только карбид вольфрама.

Коэффициент трения. Значение коэффициента трения скольжения μ конструкционных металлов по инструментальным материалам зависит от химического состава и физико-механических свойств контактирующих пар, а также от контактных напряжений на трущихся поверхностях и скорости скольжения.

В процессе резания металлов значения нормального напряжения на

контактных поверхностях лезвий инструментов находятся в пределах $0,1 \dots 0,6$ ГПа. Под действием столь больших напряжений и сил трения оксидные и адсорбированные пленки на трущихся поверхностях металлов инструмента и заготовки разрушаются. Поэтому условия взаимодействия контактных поверхностей лезвий с обрабатываемыми металлами практически соответствуют условиям сухого внешнего трения, при которых значение коэффициента трения значительно возрастает.

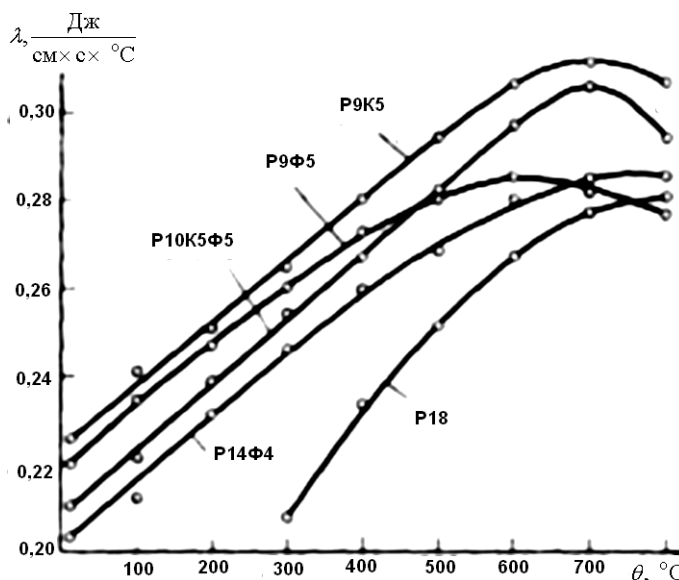


Рис. 1. Теплопроводность быстрорежущих сталей

Износостойкость. Взаимодействие инструмента с обрабатываемым материалом протекает в условиях подвижного контакта. При этом оба тела, образующих трущуюся пару, взаимно изнашивают друг друга. Материал каждого из взаимодействующих тел обладает:

- а) свойством истирать материал, с которым он взаимодействует;
- б) износостойкостью, выражающей способность материала сопротивляться истирающему действию материала контртела.

Практический интерес при изучении процессов резания представляет износ лезвий инструментов. Изнашивание лезвий инструментов происходит на протяжении всего периода их подвижного контакта с обрабатываемым материалом. В результате этого процесса лезвия теряют некоторую часть своей массы и на них отчетливо видны следы износа в виде нарушений формы рабочих поверхностей. Износостойкость не является каким-либо неизменным свойством инструментальных материалов и зависит от условий резания. Износостойкость – это количественное выражение работы сил трения, затраченной на превращение некоторой массы лезвия в продукт износа в конкретных условиях взаимодействия с определенным конструкционным металлом. Таким образом, износостойкость T определяется отношением $T = A/m$, где A – работа сил трения; m – масса продуктов износа. Продукты износа представляют собой весьма мелко диспергированные частицы инструментального материала.

Износостойкость зависит от нормального напряжения на контактных

поверхностях взаимодействующей пары трущихся материалов и от скорости относительного скольжения.

Коэффициент линейного и объемного расширения. Так как в процессе резания, инструментальный материал нагревается, то естественно он должен изменять свои размеры, что вносит погрешность в точность изготавливаемой детали. Поэтому коэффициент линейного и объемного расширения должен быть как можно более низким.

Слипаемость. Характеризуется способностью материалов образовывать наросты и налипсы и удерживать их на инструменте. Прочная связь нароста с инструментом ведет к разрушениям на лезвиях при сколе нароста.

Технологичность. При изготовлении инструмента материал должен хорошо обрабатываться резанием, свариваться, шлифоваться, подвергаться обработке давлением. Должны отсутствовать склонность к трещинообразованию при пайке заточки и доводке. Кроме того, материал должен хорошо закаливаться и т.п.

Недефицитность и низкая стоимость. Это объясняется тем, что расход режущего инструмента достаточно велик, а высокая стоимость инструмента способствует удорожанию стоимости изготовления деталей. В целях экономии инструментальных материалов режущие инструменты большей частью изготавливают сборными или сварными. Державки, корпуса, хвостовики инструментов делают из более дешевых конструкционных сталей.

2 КЛАССИФИКАЦИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Разработанные в настоящее время инструментальные материалы, в определенной степени отвечающие рассмотренным выше требованиям, подразделяются на следующие группы: а) углеродистые и низколегированные инструментальные стали; б) быстрорежущие стали; в) твердые сплавы (металлокерамика); г) минералокерамика и керметы; д) синтетические и природные алмазы; е) синтетические композиции из нитрида бора.

2.1 Углеродистые инструментальные стали

В зависимости от химического состава инструментальные стали подразделяются на углеродистые, легированные и быстрорежущие.

Углеродистые стали появились в середине XIX века и многие годы были единственным материалом для изготовления режущих инструментов. Содержание углерода в них, от которого во многом зависят свойства сталей, составляет 0,65...1,4 %. С ростом содержания углерода до 1% увеличивается твердость, но одновременно падает прочность, повышается опасность образования трещин при термообработке.

Для получения высокой твердости углеродистые стали подвергают закалке (нагревают до температуры 750...820 °С и быстро охлаждают в воде) с последующим отпуском при температуре до 200 °С для снятия внутренних напряжений и повышения прочности и вязкости. В результате термической

обработки углеродистые стали приобретают твердость 61...63 HRCэ и могут обрабатывать материалы твердостью до 30...35 HRCэ.

Основная особенность углеродистых инструментальных сталей – плохая прокаливаемость и закаливаемость. При высокой твердости поверхностного слоя сердцевина инструментов, несмотря на резкую закалку, остается вязкой. Это хорошо для инструментов с большим числом мелких лезвий малого сечения, так как при этом обеспечивается хорошая износостойкость лезвий и прочность самого инструмента.

Лучшую прочность имеют стали с содержанием углерода 1,1...1,2 %, сохраняющие мелкозернистое строение и малосклонные к развитию трещин при закалке.

Маркируется углеродистая сталь У7, У7А, У8, У8А, У9, У9А, У10, У10А, У11, У11А, У11А, У12, У12А, У13, У13А. Входящая в маркировку этих сталей буква А, указывает на высшее качество выплавки. Сталь У7, У7А содержит в среднем 0,7 % углерода, а например, У13–1,3 % С. Низкая стоимость стали и отсутствие в ней дефицитных элементов обуславливает ее использование и в современном производстве в условиях, не вызывающих разогрева рабочей кромки, т.е. для ручных инструментов и работающих на низких режимах резания, а также резания легкообрабатываемых материалов (табл. 2).

Температуростойкость θ кр составляет 220 °С, а допустимая скорость резания – 10...15 м/мин.

Из-за малой толщины закаленного слоя эту сталь не используют для крупных инструментов диаметром (толщиной) свыше 30 мм, работающих даже с умеренными нагрузками.

Таблица 2 - Режущий инструмент из углеродистых сталей и область его применения

Марки стали	Изготавливаемый инструмент, примерное назначение
У7, У7А	Заменитель стали У8. Зубила, долота, бородки, молотки, лезвия ножниц для резки металла, топоры, колуны, стамески, плоскогубцы комбинированные, кувалды
У8, У8А	Заменитель стали У7А, У7, У10А, У10. Фрезы, зенковки, топоры, стамески, зубила, долота, пилы продольные и дисковые, накатные ролики, кернеры, отвертки, плоскогубцы, боковые кусачки
У9, У9А	Инструмент для обработки дерева (лезвия рубанков, фуганков и т.д.) слесарно-монтажный инструмент, калибры простой формы
У10, У10А, У11, У11А	Метчики ручные, рашпили, надфили, пилы для обработки древесины, матрицы для холодной штамповки, гладкие калибры
У12, У12А	Метчики ручные, метчики машинные мелкогабаритные, плашки для клуппов, развертки мелкогабаритные, надфили, измерительный инструмент простой формы, гладкие калибры, скобы
У13, У13А	Напильники, шаберы, гравировальный инструмент

2.2 Легированные инструментальные стали

Они содержат один или несколько специальных легирующих элементов: хром (Х), вольфрам (В), ванадий (Ф), кремний (С), марганец (Г).

Наибольшее применение для изготовления режущего инструмента получили стали марки Х, ХГ, 9ХС, В1, ХВГ, ХВСГ. Цифры в начале марок инструментальной легированной стали показывают среднее содержание углерода в десятых долях процента. Если марка стали начинается из букв, то среднее содержание углерода равно 1%. Цифры после легирующего элемента показывают среднее его содержание в инструментальном материале.

Например, сталь 9ХС содержит 0,9% С; 1% Cr; 1% Si.

Из стали марки Х изготавливают метчики, плашки, 9ХС – сверла, развертки, метчики, плашки, гребенки, фрезы. Сталь марки В1 рекомендуется для изготовления мелких сверл, метчиков, разверток.

Материал ХВГ из-за малого коробления при термообработке, способности к правке кривизны в горячем и холодном состоянии применяется для длинных инструментов (протяжки, длинные метчики, длинные развертки, измерительный инструмент, матрицы, пуансоны).

После термической обработки твердость легированных сталей составляет 62–65 HRCэ, теплостойкость – 250...350 °С. Это позволяет повысить скорость резания до 30 м/мин.

При закалке этих сталей температура нагрева составляет 840...860 °С, охлаждение в масле с последующим отпуском – 150...200 °С, с охлаждением на воздухе 200...300 °С. Температура отпуска принимается в зависимости от необходимой твердости.

2.3 Быстрорежущие стали

В начале XX века была разработана высоколегированная инструментальная сталь, названная быстрорежущей. Она содержала 18 % вольфрама (W); 4,5 %, хрома (Cr) и 1 % ванадия (V), 0,7...0,8 % углерода (C). По сравнению с углеродистой новая сталь имела значительно более высокие физико-механические свойства, в особенности температуро- и износостойкость. Инструменты, изготовленные из этой стали, могли обрабатывать стали и чугуны со скоростями резания 30...60 м/мин (в 2...2,5 раза выше, чем инструментами из углеродистых инструментальных сталей). Их температуростойкость была около 620 °С. Благодаря этим качествам вновь разработанная сталь была названа быстрорежущей. По химическому составу она соответствует современной марке P18. Принцип маркировки быстрорежущей стали аналогичен конструкционным сталям, за исключением того, что вольфрам у них закодирован буквой P, а не буквой В, а также отсутствуют данные о содержании углерода и хрома.

Количество вольфрама, который входит в состав многих марок быстрорежущих сталей, колеблется от 5,5 до 19,5 %, углерода – от 0,6 до 1,55 %, хрома – от 3,0 до 4,6 %.

Вольфрам, взаимодействуя с углеродом, образует карбиды вольфрама, благодаря этому сталь приобретает высокую твердость, температуростойкость и износостойкость, при этом теплопроводность стали несколько уменьшается.

Хром – обязательный легирующий элемент быстрорежущей стали, обеспечивает повышенную ее закаливаемость и прокаливаемость. Он способствует получению однородной мартенситной структуры одинаковой твердости по всему поперечному сечению инструмента. Ванадий повышает твердость, сопротивление пластической деформации и теплостойкость. В процессе термообработки ванадий способствует образованию мелкозернистой мартенситной структуры и несколько снижает хрупкость. Поэтому ванадиевые быстрорежущие стали, успешно работают при обработке материалов повышенной прочности и твердости, хотя с ограниченными скоростями резания. Недостатком ванадиевых быстрорежущих сталей является склонность к появлению прижогов при шлифовании и заточке.

Молибден повышает прочность и вязкость быстрорежущей стали, что позволяет уменьшить содержание в ней дефицитного вольфрама. Присутствие молибдена способствует повышению теплопроводных свойств сталей, и тем самым, снижению температуры лезвий инструментов. Его содержание в быстрорежущих сталях не превышает 5 %, так как сталь становится склонной к обезуглероживанию и окислению, что требует тщательного предохранения от прижогов при заточке.

Кобальт повышает теплостойкость, твердость, шлифуемость и теплопроводность быстрорежущей стали, снижая вместе с тем ее прочность и вязкость, усиливая обезуглероживание при термообработке.

Титан, ниобий, цирконий, тантал образует очень устойчивые карбиды, которые задерживают рост зерна при закалке. Легирование стали азотом в концентрации не более 0,3...0,04 % создает нитриды, также задерживающие рост зерен, повышает твердость, но снижает прочность, требуя обработки резанием без динамических нагрузок. Никель и марганец снижают теплостойкость стали и не улучшают ее режущих свойств.

Степень влияния легирующих элементов на свойства стали зависит от ее химического состава, так как между элементами возможно взаимовлияние.

Инструменты из быстрорежущей стали подвергают закалке с нагревом до температуры 1270...1290 °С (P18), 1230...1250 °С (P9) с последующим охлаждением в масле, а также трех-четырёхразовому отпуску с одночасовой выдержкой при температуре 560...580 °С и охлаждением на воздухе.

В термообработанном состоянии быстрорежущие стали по пределу прочности (σ_B) и на изгиб ($\sigma_{и}$) превышают все другие инструментальные материалы. Они имеют не только высокую прочность, но сохраняют упругость и вязкость. Они способны выдерживать большие контактные напряжения, возникающие на лезвиях в процессе резания металлов.

Твердость быстрорежущей стали после закалки и отпуска обычно составляет 63...66 HRCэ, но у сталей повышенной теплостойкости может быть

66...67,5 HRCэ. Теплостойкость большинства марок стали находится в пределах 620...640 °С.

Наивысший предел прочности на изгиб у стали Р6М5 (от 3300 до 3400 МПа), для других марок он, например, составляет: Р18– 2900...3100; Р9Ф5 – 2600...2900; Р9К5 – 2500; Р9К10 – 2050...2100.

Применяемые быстрорежущие стали делятся на три группы: нормальной, повышенной и высокой производительности.

К сталям нормальной производительности относятся вольфрамовые стали (Р9, Р12, Р18), вольфрамомолибденовые (Р6М5, Р6М3, Р8М3 и др.), безвольфрамовые (9Х6М3Ф3АГСТ и др.) Последние соответствуют свойствам стали Р6М5.

Наиболее универсальна по своим свойствам сталь Р18, пригодная для любых режущих инструментов, хорошо шлифуемая и технологичная. Ограниченное применение она имеет вследствие большого содержания дефицитного вольфрама. Основной маркой для широкого использования является сталь Р6М5, близкая по режущим свойствам к стали Р18, более прочная и дешевая, но склонная к обезуглероживанию при нагреве и требующая большей культуры в эксплуатации.

Стали повышенной производительности дополнительно легированы кобальтом и ванадием. К ним относятся стали с теплостойкостью 625...640 °С: вольфрамокобальтовые (Р9К5, Р9К10 и др.); вольфрамованадиевые (Р9Ф5, Р12Ф3, Р14Ф4, Р18Ф2 и др.); вольфрамомолибденовые с кобальтом и ванадием (Р6М5К5, Р9М4К8, Р6М5Ф3, Р6М5Ф2К8 и др.); вольфрамованадиевые с кобальтом (Р10Ф5К5, Р12Ф4К5, Р18К5Ф2); вольфрамованадиевые с кобальтом и молибденом (Р12Ф3К10М3, Р12Ф2К5М3, Р18Ф2К8М др.).

Стали повышенной производительности применяют для обработки коррозионностойких, жаростойких и жаропрочных деформируемых сталей и сплавов, а также высокопрочных сталей.

Повышенная теплостойкость данных сталей обеспечивает работу инструментов на повышенных режимах резания с увеличенной стойкостью. Например, при обработке стали 40ХН со скоростью резания 30 м/мин стойкость червячных фрез из стали Р9М4К8 в 3 раза выше, чем из стали Р18; стойкость резцов при точении стали ЭИ893 в 2...3 раза выше, чем резцов из стали Р18.

Порошковые быстрорежущие стали характеризуются повышенной шлифуемостью и пластичностью при холодной и горячей деформации, обладают повышенной (на 500...700 МПа) прочностью при изгибе и в 1,5...2,5 раза более высокой стойкостью по сравнению с быстрорежущими сталями аналогичного состава обычного производства. Высокая прочность сталей при изгибе позволяет работать на повышенных подачах с сохранением заданных характеристик.

Порошковые быстрорежущие стали Р9М4К8-МП и Р10М6К8-МП обладают повышенной красностойкостью, хорошо шлифуются; предназначены для обработки материалов повышенной твердости до 38–42 HRCэ и нашли применение в инструментах для станков с ЧПУ. Стойкость режущих инструментов из этих сталей в 1,5...2 раза выше, чем из сталей Р6М5 и Р18.

Порошковые быстрорежущие стали Р6М5Ф3-МП, Р6М5К5-МП, Р6М5Ф2К8-МП и 13Р6М5Ф3-МП при обработке труднообрабатываемых материалов обеспечивают по сравнению со сталями обычного производства аналогичного состава повышение стойкости до 4 раз, хорошо поддаются шлифованию. Их применяют для изготовления различных, в том числе и крупногабаритных инструментов, инструментов сложной формы с большим объемом шлифования (зуборезный инструмент, червячные фрезы, протяжки и т.д.).

Стали высокой производительности характеризуются высокой теплоустойчивостью (700...725 °С) и вторичной твердостью после закалки и отпуска (HRCэ 69–70). К ним относятся стали В11М7К23, В24М12К23, В18К25Х4 и др. Инструменты из сталей высокой производительности имеют высокую стойкость при повышенных режимах резания жаропрочных и титановых сплавов. При обработке указанных материалов стойкость инструментов из стали высокой производительности на ряде операций до 30 раз выше по сравнению с инструментами из стали Р18 и до 10 раз выше, чем из кобальтовых быстрорежущих сталей и даже металлокерамики (ВК8).

К быстрорежущим сталям высокой производительности относятся стали нового класса – карбидостали.

Карбидостали – это новый класс инструментальных материалов для обработки деталей из труднообрабатываемых материалов, изготавливаемых методами порошковой металлургии. Это композиционный материал, в котором зерна тугоплавких карбидов (преимущественно TiC) равномерно распределены в связке из легированной стали.

Карбидостали сочетают твердость и износостойкость твердых сплавов с прочностью и вязкостью легированных сталей и по своим характеристикам занимают промежуточное положение между быстрорежущими сталями и твердыми сплавами. Высокое содержание карбидной фазы обеспечивает сталям лучшую, чем у обычных сталей, износостойкость, а наличие термообрабатываемой связки позволяет эти материалы подвергать механической обработке в отожженном состоянии. Материал термостоек, легче быстрорежущих сталей на 13 %, а твердых сплавов – на 50 %.

Карбидостали выпускаются двух марок Р6М5-КТ20 и Р6М5К5-КТ20 с массовой долей TiC 20%.

Вторичная твердость карбидосталей HRCэ составляет 70...72 (HRA 87...89), прочность при изгибе – 2000...2500 МПа, ударная вязкость – 80...120 Дж/м², теплоустойчивость – 650...690 °С, плотность материала – 7,10 г/см³.

Стойкость режущего инструмента из карбидосталей при обработке жаропрочных литейных сплавов на никелевой основе ЖС6КП, ЭИ-867 в 2,5...3,5 раза выше стойкости сталей повышенной производительности; при торцовом фрезеровании сплава ВЖ-122 стойкость инструмента в 10 раз выше, чем из стали Р18, и в 2 раза выше, чем из стали Р7М2Ф6М5-МП.

При изготовлении инструментов из быстрорежущих сталей их рабочую часть выполняют цельными или соединяют с крепежной сваркой. Крепежная часть выполняется из конструкционной стали (сталь 45, 50, 40Х и т.п.), а при

тяжело нагруженных работах – сталь У10 или 9ХС.

Рекомендуемые области применения наиболее распространенных быстрорежущих сталей приведены в табл. 3.

2.4 Твердые (металлокерамические) сплавы

Твердые, или так называемые металлокерамические, инструментальные сплавы – это материалы, состоящие из карбидов вольфрама, титана и тантала, связанные кобальтом. Это не стали, так как в них нет железа. Свое название они получили из-за высокой твердости карбидов и материала в целом и по первоначальной технологии получения на основе расплавления компонентов с последующей отливкой. В дальнейшем технологию заменили на другую (порошковую металлургию), но название «сплав» сохранилось. Различают три основные группы твердых сплавов: однокарбидные, или вольфрамокобальтовые (группа ВК), длительное время называемые «победитами», двухкарбидные (группа ТК), или титановольфрамовые, и трехкарбидные, или вольфрамотитанотантало-кобальтовые (группа ТТК). Карбиды, т.е. химические соединения с углеродом WC, TiC, TaC, придают твердость, износо- и теплостойкость сплаву, но повышают хрупкость, а кобальт уменьшает твердость, износостойкость и допускаемую температуру резания, однако делает сплав более прочным и противостоящим ударным нагрузкам.

Твердость этих сплавов выше твердости быстрорежущей стали на 11...12 % и составляет по шкале А. Роквелла 87...92 единицы. Теплостойкость однокарбидных сплавов равна 900...927 °С, двухкарбидных – 1000...1027 °С, трехкарбидных – 750 °С. Кратковременно двухкарбидные сплавы могут работать при нагреве до 1250 °С и обрабатывать даже закаленные стали.

Таблица 3 - Режущий инструмент из быстрорежущих сталей и область его применения

Марки стали	Изготавливаемый инструмент, примерное назначение
P18	Режущий инструмент всех видов для обработки конструкционных сталей с пределом прочности до 1000 МПа
P9	Резцы, сверла, зенкеры и другие инструменты для обработки конструкционных материалов, в т. ч. древесины
P6M5	То же, что и стали P18, а также зуборезные и резборезные инструменты для обработки коррозионно-стойких сталей
P14Ф4	Резцы, зенкеры, развертки для обработки материалов с повышенными абразивными свойствами – стеклопластиков, пластмасс, эбонита, чистовые инструменты простой формы для обработки легированных сталей и сплавов
P6M5Ф3	Для чистовой и получистовой обработки фасонными резцами, развертками, протяжками, фрезами конструкционных углеродистых, легированных и улучшенных сталей и сплавов

Окончание табл. 3

Р18Ф2К5 Р18Ф2К8М Р18Ф2 Р6М5К5 Р9М4К8 Р8М3К6С	Резцы, сверла, зенкеры, фрезы, метчики для обработки углеродистых легированных конструкционных сталей, а также жаропрочных сплавов и прочных сталей высокой твердости
Р12М3Ф2К8	Взамен стали Р18Ф2К8М - автоматные резцы, в т. ч. фасонные инструменты, работающие на высоких скоростях резания, при обработке конструкционных сталей
11Р3АМ3Ф2 9Х4М3Ф2АГСТ	Все виды инструментов для обработки неупрочненных сталей и чугунов, а также цветных металлов и сплавов
В11М7 К23	Все виды инструментов для обработки титановых сплавов и некоторых высокопрочных коррозионностойких сталей и сплавов
Р6М5К5-МП Р9М4К8-МП	Для тех же целей, что и стали Р9М4К8, Р6М5К5, обладают лучшей шлифуемостью, менее деформируются при термообработке, обладают большей прочностью, показывают более стабильные эксплуатационные свойства

Предел прочности при сжатии у твердых сплавов примерно того же уровня, что и у быстрорежущей стали, но на изгиб они работают хуже в 1,5...2 раза. Однокарбидные сплавы менее хрупки, чем двухкарбидные, но зато двухкарбидные меньше склонны к наростообразованию, что позволяет обрабатывать материалы, дающие сливную стружку.

Наиболее распространенными марками твердых сплавов группы ВК являются ВК3, ВК3М, ВК4, ВК4В, ВК6, ВК6-ОМ, ВК6М, ВК6В, ВК8, ВК8В, ВК8К, ВК10, ВК10М, ВК10-ОМ.

Сплав ВК3, например, содержит 3 % С и 97 % карбидов вольфрама (WC). Индексы в конце марок сплавов: ВК8В, ВК4В, ВК6В указывают на зернистость порошков вольфрама:

В – крупнозернистые с величиной зерна 3...5 мкм; М – мелкозернистые (1,5 мкм);

ОМ – особомелкозернистые (менее 1 мкм); при отсутствии индекса – 1...2 мкм.

Эта группа обладает значительной вязкостью и высокой износостойкостью при обработке хрупких материалов, дающих стружку надлома (чугуны, цветные металлы и их сплавы, пластмассы и др.). Сплавы с малым содержанием кобальта ВК2 и ВК3, ВК3М предназначены для чистовых работ, ВК6, ВК8 – для черновых работ при переменных нагрузках, мелкозернистые сплавы ВК3М, ВК6М – для обработки хрупких материалов значительной твердости (отбеленных чугунов, бронзы, стекла, фарфора), так как хорошо точатся и имеют острую кромку.

Вышеназванные материалы при обработке вязких материалов имеют низкую износостойкость.

Допускаемая скорость резания при черновом точении серого чугуна резцом из материала ВК8 равна 125 м/мин, а при чистовом точении резцом из материала ВК2, ВК3 – 200 м/мин.

При обработке закаленных материалов скорости резания составляют 60...100 м/мин.

Сплавы группы ТК характеризуются меньшим сопротивлением изгибу, но высокой износостойкостью при обработке вязких материалов, дающих при обработке сливную стружку. Например, чистовое и получистовое точение сталей, нарезание резьб, зенкерование, чистовое фрезерование рекомендуется проводить инструментами из материала Т15К6, содержащего 15 % TiC, 6 % Co и 79 % WC. При понижении в твердом сплаве содержания карбидов титана и повышении в нем кобальта снижается твердость инструментального материала, но возрастает сопротивление изгибу ($\sigma_{и}$).

В связи с этим сплавы марок Т5К10 могут работать с ударными нагрузками, а Т14К8 – при черновом точении с переменными нагрузками, а также строгании и фрезеровании.

Сплавы группы ТК имеют низкую теплопроводность. Это приводит к образованию трещин при быстром нагреве. Следовательно, при заточке инструмент следует обильно охлаждать.

Кратковременные допускаемые скорости резания при точении конструкционных сталей составляют: для токарных резцов материала Т30К4 – до 500 м/мин при чистовом точении; Т15К6 – до 400 м/мин при чистовом точении; Т14К8 – до 200 м/мин при черновом точении; Т5К10 – до 115 м/мин при черновом точении.

При обработке закаленных сталей скорости резания составляют 60...100 м/мин.

Сплавы группы ТТК по своим физико-механическим свойствам являются промежуточными между вольфрамовыми и титановольфрамовыми сплавами. Они имеют более высокую прочность и вязкость, чем сплавы группы ТК, но уступают им по твердости и теплостойкости. Благодаря высокой износостойкости и эксплуатационной прочности ударным нагрузкам и вибрациям сплавы группы ТТК эффективны при черновой обработке сталей и сплавов. Они широко применяются в тяжелом машиностроении.

Нашли применение следующие высокоэффективные марки твердого сплава группы ТТК: ТТ8К6, ТТ21К9 и ТТ20К9А. Стойкость сплава ТТ8К6 в 2...2,5 раза выше стойкости сплава ВК6М при чистовой и получистовой обработке легированных сталей. Сплав ТТ21К9 обладает в 3 раза большей стойкостью по сравнению со сплавом ТТ7К9 при черновом и получистовом фрезеровании легированных сталей; стойкость сплава ТТ20К9А в 2...2,5 раза превышает стойкость сплава Т14К8 при фрезеровании сталей.

Пример расшифровки сплава ТТ8К6 – 6 % Co, 8 % карбидов титана и тантала TiC+TaC и 76 % карбидов вольфрама WC.

Температуростойкость сплавов группы ТТК составляет 800 °С.

Безвольфрамовые твердые сплавы (БВТС) – это сплавы на основе карбида (TiC) и карбонитрида (TiN) титана, цементованных никелемолибдено-

вой связкой (Ni+Mo).

Разработка БВТС вызвана возрастающим дефицитом на вольфрамовую руду и кобальт, используемых в производстве обычных твердых сплавов. Безвольфрамовые твердые сплавы по сравнению с вольфрамовыми сплавами имеют меньшую прочность на изгиб, но отличаются повышенной температуростойкостью (до 1000 °С) и низкой схватываемостью с обрабатываемыми материалами. Благодаря высокой плотности БВТС при заточке режущих инструментов можно получить острую кромку, что особенно ценно для инструмента, предназначенного для чистовой обработки. Инструменты из этих сплавов работают по сталям практически без наростообразования. Эти свойства и предопределили область их применения – чистовое и получистовое точение и фрезерование конструкционных и малоуглеродистых сталей, чугунов и некоторых цветных металлов. Сплавы БВТС обеспечивают меньшую шероховатость поверхности по сравнению с твердым сплавом, что дает возможность заменять шлифование точением и способствует повышению производительности труда в 2...2,5 раза. Износостойкость БВТС в 1,2...1,5 раза выше износостойкости сплавов группы ТК.

БВТС изготавливаются следующих марок: ТМ1; ТМ3; КТН12; КТН16; КТН20; ТН20; КХН10; КХН15 и др.

Наибольшее распространение из них получили КТН16 (TiN–74 %; Ni–19,5 %; Mo–6,5 %) и ТН20 (TiC–79 %; Ni–15 %; Mo–6 %).

Скорости резания БВТС марки ТН20 при обработке конструкционных сталей составляют 100...350 м/мин, чугунов – 70...130 м/мин, латуни, бронзы – 50...200 м/мин; марки КТН16 при обработке сталей – 80...250 м/мин, чугунов – 70...120 м/мин; латуни, бронзы – 50...170 м/мин.

Нижние пределы скоростей даны для обработки термообработанных сталей и чугунов.

Вследствие неудовлетворительных термических свойств БВТС плохо поддаются пайке и заточке, поэтому их применяют в основном в виде неплетачиваемых пластин.

В металлообработке стандартом ISO выделены три группы применимости твердосплавного режущего инструмента: группа Р – для обработки материалов, дающих сливную стружку; группа К – дающих стружку надлома и группа М – для обработки различных материалов (универсальные твердые сплавы). Каждая область разделяется на группы и подгруппы.

Твердые сплавы в основном выпускаются в виде различных по форме и точности изготовления пластин: напайных (наклеиваемых) – по ГОСТ 25393–82 или сменных многогранных – по ГОСТ 19043–80, 19057–80 и другим стандартам.

Многогранные пластины выпускаются как из стандартных марок твердых сплавов, так и из этих же сплавов с однослойными или многослойными сверхтвердыми покрытиями из TiC, TiN, оксида алюминия и других химических соединений. Пластины с покрытиями обладают повышенной стойкостью. К обозначению пластин из стандартных марок твердых сплавов с покрытием нитридов титана добавляют маркировку букв КИБ (ТУ 2-035-806-

80), а к обозначению сплавов по ISO – букву С, например, P30C или K20C.

Выпускаются также пластины и из специальных сплавов (например, по ТУ 48-19-308-80). Сплавы этой группы (группы "МС") обладают более высокими режущими свойствами. Обозначение сплава состоит из букв МС и трехзначного (для пластин без покрытий) или четырехзначного (для пластин с покрытием карбидом титана) числа:

1-я цифра обозначения соответствует области применения сплава по классификации ISO (1 – обработка материалов, дающих сливную стружку; 3 – обработка материалов, дающих стружку надлома; 2 – область обработки, соответствующая области М по ISO);

2-я и 3-я цифры характеризуют подгруппу применяемости, а 4-я цифра – наличие покрытия. Например, МС111 (аналог стандартного Т15К6), МС1460 (аналог стандартного Т5К10) и т.д.

Кроме готовых пластин выпускаются также заготовки в соответствии с ОСТ 48-93–81; обозначение заготовок такое же, что и готовых пластин, но с добавлением буквы З.

Рекомендуемые области применения основных марок твердых сплавов представлены в табл. 4.

2.5 Минералокерамические материалы

Минералокерамические материалы (ГОСТ 26630–85) обладают высокой твердостью (92–94 НРА) и теплостойкостью (1100...1400 °С), а также износостойкостью. Они делятся на два основных вида: оксидную белую керамику, содержащую до 99,7 % окиси алюминия (Al_2O_3) и оксидно-карбидную черную керамику, состоящую из окиси алюминия и одинарного карбида титана (Al_2O_3+TiC) или сложных карбидов титана, вольфрама, молибдена (до 40 %).

Таблица 4 - Рекомендуемые области применения твердых сплавов

Марки	Применение
ВК3-М	Чистовая обработка (точение, растачивание, нарезание резьбы, развертывание) твердых, легированных и отбеленных чугунов, цементированных и закаленных сталей, а также высокоабразивных неметаллических материалов
ВК6-ОМ	Чистовая и получистовая обработка твердых, легированных и отбеленных чугунов, закаленных сталей и некоторых марок нержавеющей высокопрочных и жаропрочных сталей и сплавов, особенно сплавов на основе титана, вольфрама и молибдена (точение, растачивание, развертывание, нарезание резьбы, шабровки)
ВК8	Черновое точение при неравномерном сечении среза и прерывистом резании, строгании, черновое фрезерование, сверление, черновое рассверливание, черновое зенкерование серого чугуна, цветных металлов и их сплавов и неметаллических материалов. Обработка нержавеющей, высокопрочных и жаропрочных труднообрабатываемых сталей и сплавов, в том числе сплавов титана

Окончание табл. 4

ВК10-ОМ	Черновая и получерновая обработка твердых, легированных и отбеленных чугунов, некоторых марок нержавеющей, высокопрочных и жаропрочных сталей и сплавов, особенно сплавов на основе титана, вольфрама и молибдена. Изготовление некоторых видов монолитного инструмента
T15K6	Получерновое точение при непрерывном резании, чистовое точение при прерывистом резании, нарезании резьбы токарными резцами и вращающимися головками, получистовое и чистовое фрезерование сплошных поверхностей, рассверливание и растачивание предварительно обработанных отверстий, чистовое зенкерование, развертывание и другие аналогичные виды обработки углеродистых и легированных сталей
T5K12	Тяжелое черновое точение стальных поковок, штамповок и отливок по корке с раковинами при наличии песка, шлака и различных неметаллических включений при неравномерном сечении среза и наличии ударов. Все виды строгания углеродистых и легированных сталей
ТТ7К12	Тяжелое черновое точение стальных поковок, штамповок и отливок по корке с раковинами при наличии песка и шлака различных неметаллических включений при равномерном сечении среза и наличии ударов. Все виды строгания углеродистых и легированных сталей. Тяжелое черновое фрезерование углеродистых и легированных сталей
ТТ20К9	Фрезерование стали, особенно фрезерование глубоких пазов и других видов обработки, предъявляющих повышенные требования к сопротивлению сплава тепловым и механическим циклическим нагрузкам

Керамика первого вида, например марки ЦМ 332, ВО13, имеет низкую прочность на изгиб 300...400 МПа и используется на получистовых и чистовых операциях нетермообработанных сталей, серых чугунов с высокими скоростями резания (до 800...1000 м/мин) на виброустойчивом оборудовании без охлаждения. Недостатком оксидной минералокерамики является ее низкая прочность и хрупкость. Ей не рекомендуется обрабатывать цветные металлы и их сплавы.

Повышенной (примерно в два раза) прочностью на изгиб (до 600...700 МПа) обладают керамические материалы второго вида, например ВОК-60, ВОК-63, В-3 и др. Эти материалы выпускаются в виде пластин, которые крепятся к корпусам различных инструментов.

Применяется также оксидно-нитридная керамика (картинит), например марки ОНТ-20 (состоит из Al_2O_3+TiN), и керамика на основе нитрида кремния, например марки силинит-Р твердостью 94...96 HRA, прочностью на изгиб 650...750 МПа (цвет коричневый). Стойкость инструмента с минералокерамикой в 5...10 раз выше стойкости инструмента, оснащенного сплавами

групп ВК и ТК, при увеличении производительности в 2 раза.

Оксидно-карбидная (смешанная, черная) керамика (ВОК-60, ВОК-63, В-3, картинит ОНТ-20) предназначена для чистовой, получистовой и прерывистой обработки ковких, высокопрочных, отбеленных, модифицированных чугунов, сталей, закаленных до HRCэ 30...55 и HRCэ 56...65. Кроме того, керамика В-3 и ОНТ-20 рекомендуется для обработки цветных металлов на основе меди.

Рекомендации по выбору керамики представлены в табл. 5.

Таблица 5 - Рекомендации по выбору марки керамики

Обрабатываемый материал	Твёрдость	Марка керамики
Чугун серый	HВ=1430...2890 МПа	ВО-13, ВШ-75, ЦМ-332
Чугун ковкий	HВ=1630...2690 МПа	ВШ-75, ВО-13
Чугун отбеленный	HВ=4000...6500 МПа	ВОК-60, ОНТ-20, В-3
Сталь конструкционная углеродистая	HВ=1600...2290 МПа	ВО-13, ВШ-75, ЦМ-332
Сталь конструкционная легированная	HВ=1790...2290 МПа	ВО-13, ВШ-75, ЦМ-332
Сталь улучшенная	HВ=2290...3800 МПа	ВШ-75, ВО-13, ВОК-60 Силинит-Р
Сталь цементированная закалённая	36...48HRCэ	ВОК-60, ОНТ-20, В-3
	48...64HRCэ	ВОК-60, В-3, ОНТ-20
Медные сплавы	HВ=600...1200 МПа	В-3, ОНТ-20
Никелевые сплавы	-	Силинит-Р, ОНТ-20

2.6 Сверхтвёрдые материалы (стм)

Сверхтвёрдые материалы подразделяются на естественные и искусственные. К первым относятся алмазы, ко вторым – алмазы синтетические, материалы на основе нитрида бора и композиционные материалы, содержащие алмаз, нитрид бора, карбиды металлов и твердые окислы.

Алмаз – самый твердый инструментальный материал, представляющий собой кристаллическую модификацию углерода, алмаз является эталоном твердости (его твердость составляет порядка 100 ГПа). Он обладает высокой износостойкостью, хорошей теплопроводностью, (это позволяет вести обработку резанием на высоких скоростях), малым коэффициентом трения и высоким сопротивлением адгезии металлов.

Для изготовления резцов применяют кристаллы алмаза весом 0,31...0,85 карата (1 карат = 0,200 г). Кристаллы алмаза должны быть прозрачные, без трещин, раковин и других дефектов. К недостаткам алмаза как инструментального материала для режущего инструмента следует отнести пониженную теплостойкость (650...700 °С) и повышенную хрупкость (сопротивление изгибу 210...480 МПа), что требует использования станков повышенной жесткости и виброустойчивости. Другой недостаток – алмаз растворяется в железе при их контакте с нагревом выше температуры 700 °С.

Химическая и коррозионная стойкость алмаза высока. Самые крепкие кислоты и даже царская водка (смесь соляной и азотной кислот) не нарушают его структуру. Однако в содовом растворе и в расплавах щелочей, натриевой и калиевой селитрах алмаз растворяется. На воздухе алмаз сгорает при температуре 850...1000 °С, превращаясь в графит.

Синтетические алмазы получают из графита при высоких давлениях (1000 ГПа) и температурах (2500 °С). Они значительно дешевле природных алмазов и находят наиболее широкое применение (более 90 % используемых алмазов являются синтетическими). Выпускаются синтетические алмазы в виде порошков (зерен монокристаллов), поликристаллов (ГОСТ 9206–80) и композиционных материалов.

Алмазные порошки используются для изготовления абразивного инструмента (шлифовальных кругов, лент, напильников). Спеканием алмазного порошка получен материал СВБН, а синтетических алмазных порошков – СКМ (температуростойкость до 950 °С).

Для изготовления лезвийного и выглаживающего инструмента также используются поликристаллы синтетических алмазов марок баллас (АСБ-5; АСБ-5А; АСБ-6), карбонадо – (АСПК-1; АСПК-2, АСПК-3). По твердости поликристаллы близки к монокристаллам природного алмаза, а по прочности на изгиб в 2...3 раза превосходят его.

Режущие инструменты из поликристаллов синтетических алмазов (их диаметр до 8 мм) обладают повышенной режущей способностью при обработке титановых, алюминиевых и медных сплавов, стеклопластиков, композиционных материалов, минералокерамики и других материалов. Стойкость инструментов из поликристаллов синтетических алмазов превышает стойкость твердосплавных инструментов.

На основе синтетических алмазов созданы композиционные материалы, состоящие из подложки толщиной 2...4 мм, и нанесенного на нее алмазного слоя толщиной приблизительно в 1 мм. Для подложки используются пластины из твердых сплавов групп ВК и БВТС. Двухслойные пластины дают возможность объединить высокие твердость и износостойкость алмазов с прочностью твердых сплавов. Выпускаются пластины марок АТП (алмазно-твердосплавные пластины) и БПА (бипластины алмазные).

Рекомендуемые диапазоны режимов резания АС при точении при ведены в табл. 6.

Таблица 6 - Рекомендуемые диапазоны режимов резания при точении инструментом, оснащенным поликристаллическим алмазом

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

Окончание табл. 6

Пластмассы, пластики, 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...1,0	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 двух раз. 3. Глубина резания древесностружечных материалов определяется шириной фрез или пил.			

Кубический нитрид бора (кубонит) является уникальным синтетическим инструментальным материалом (его состав: бор – 44 %, азот – 56 %). Исходным материалом для его получения является гексагональный нитрид бора, близкий по своим характеристикам к графиту. В результате синтеза при высоких давлениях и температурах этот материал с гексагональной решеткой превращается в КНБ с более плотной кубической решеткой. По твердости КНБ (90 ГПа) близок к твердости алмаза, а по теплостойкости колеблется от (1100 °С до 1500 °С). Следует отметить инертность КНБ ко всем конструкционным материалам.

Современные сверхтвердые материалы получают синтезом из гексагонального нитрида бора [эльбор-Р (композит 01) и белбор (композит 02)]; синтезом из вюртцитоподобной модификации нитрида бора [гексанит-Р (композит 10) и ПТНБ (композит 09)]; спеканием из порошков кубического нитрида бора с легирующими добавками киборита (композит 05).

Назначение основных типов СТМ приведено в табл. 7.

Таблица 7 - Назначение СТМ на основе кубического нитрида бора

Марка материала	Область применения
Композит 01 (Эльбор Р)	Тонкое и чистовое точение без удара и торцовое фрезерование закалённых сталей и чугунов любой твёрдости, твёрдых сплавов ($Co \geq 15\%$)
Композит 03 (Исмит)	Чистовая и получистовая обработка закалённых сталей и чугунов любой твёрдости
Композит 05	Предварительное и окончательное точение без удара закалённых сталей ($HRC_{\Sigma} \leq 55$) и серого чугуна, торцовое фрезерование чугуна закалённых сталей и чугунов
Композит 06	Чистовое точение закалённых сталей ($HRC_{\Sigma} \leq 63$)

Окончание табл. 7

Композит 10 (Гексанит Р)	Предварительное и окончательное точение с ударом и без удара, торцовое фрезерование сталей и чугунов любой твёрдости, твёрдых сплавов ($C_{60} \geq 15\%$), прерывистое точение, обработка наплавленных деталей
Томал 10	Черновое, полужерновое и чистовое точение и фрезерование чугунов любой твёрдости, точение и растачивание сталей и сплавов на основе меди, резание по литейной корке
Композит 10Д	То же

Рекомендуемые усредненные диапазоны скоростей и подач приведены в таблице 8.

Таблица 8 - 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 э 40...58	Без удара С ударом	05; 01; 02 10; 10Д	50...180 40...120	0,03...0,20 0,03...0,10	0,05...3,0 0,05...1,0
Стали быстрорежущие, инструментальные, цементуемые, HRCэ 58...70	Без удара С ударом	01; 02 10; 10Д	50...120 40...100	0,03...0,1 0,03...0,07	0,05...0,8 0,05...0,4
Чугуны серые и высокопрочные, HB 150–300	Без удара С ударом	05; 01; 02 10; 10Д; 05; 01; 02	400...1000 300...800	0,03...0,5 0,03...0,2	0,05...1,0 0,05...2,0
Чугуны отбеленные, HB 400...600	Без удара С ударом	05; 01; 02 10; 10Д	50...200 40...90	0,03...0,5 0,03...0,10	0,05...2,0 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
Износостойкие покрытия на основе никеля (плазменное нанесение), HRCэ 47...57	По корке	01; 02; 10; 10Д	40–100	0,03...0,15	0,1...0,5
Примечание. При фрезеровании, скорости могут быть увеличены в 2...3 раза.					

Резание с применением сверхтвердых материалов имеет ряд особенностей, например 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 не предназначен.

Уменьшение радиуса до $0,2 \dots 0,4$ 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 округленную форму с радиусом $r = 30 \dots 50$ мкм либо сделать стандартную защитную фаску шириной $0,05 \dots 0,20$ 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 обработанную поверхность. Влияние такой фаски возрастает при увеличении переднего угла, т. е. при переходе от отрицательных γ к положительным.

При фрезеровании всегда следует стремиться к достижению максимально 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 повышении скорости резания шероховатость обработанной поверхности уменьшается, а при увеличении подачи растет;
- при повышении скорости резания сила резания уменьшается, а при увеличении подачи на зуб растет, т. е. снижается точность обработки.

3. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РЕЖУЩИХ СВОЙСТВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Режущие свойства инструментов, изготовленных из различных инструментальных материалов, могут быть оценены сравнительным сопоставлением, например, по температуростойкости или по износостойкости (рисунок 2).

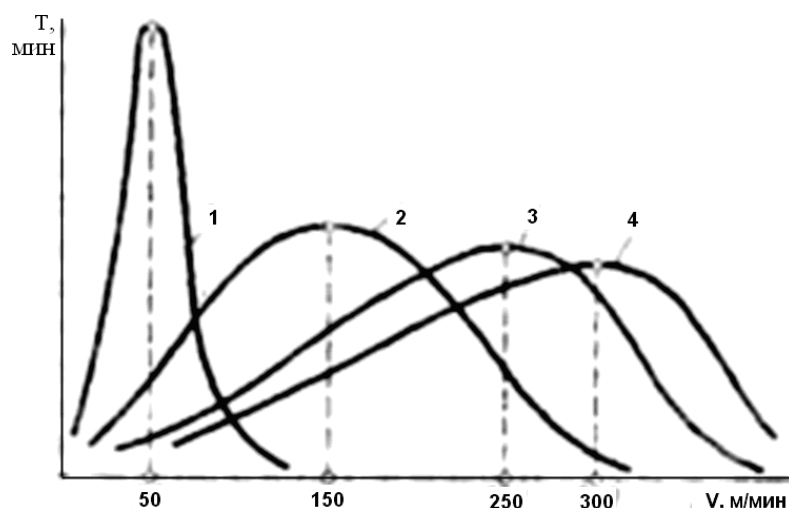


Рис. 2. Сравнительная износостойкость некоторых инструментальных материалов:

- 1 – быстрорежущие стали; 2 – твердый сплав Т15К6;
3 – твердый сплав Т30К4; 4 – твердый сплав Т60К6.

Следует отметить, что температуростойкость находится в определенном соответствии с другими физико-механическими свойствами – твердостью и прочностью; с ростом последних увеличивается и температуростойкость. Но прямой пропорциональности здесь нет. Так, твердость углеродистых и низколегированных сталей не уступает твердости быстрорежущих сталей, а их прочностные свойства отличаются незначительно. В то же время температуростойкость быстрорежущих сталей более чем в 2,5 раза выше, чем углеродистых и низколегированных сталей. Исключением является также и низкая температуростойкость синтетических алмазов, в то время как по твердости они занимают одно из первых мест среди других инструментальных материалов. Одной из главных эксплуатационных характеристик режущих свойств инструментальных материалов, которая суммарно отражает большинство остальных физико-механических свойств, является износостойкость T . Из рисунка 3 видно, что износостойкость инструментальных материалов определяется как их природой и химическим составом, так и скоростью резания v . Среди всех групп инструментальных материалов наименее износостойкие углеродистая (кривая 1) и низколегированная (кривая 2) инструментальные стали.

Максимум их износостойкости приходится на скорости резания 20...30 м/мин. Наиболее износостойкие быстрорежущие стали (кривая 3). Причем в среднем для этой группы максимальная износостойкость имеет место при скоростях резания ≈ 50 м/мин.

При более детальном рассмотрении, все марки быстрорежущих сталей по износостойкости могут быть разделены на три группы (рисунок 4).

К первой группе (кривая 1) отнесены стали, которые содержат 4...5 % ванадия (Р9Ф5), Р9К5Ф5, Р14Ф4, Р10К5Ф5 и др.) Они оказываются наиболее износостойкими в зоне малых скоростей резания ($v < 30$ м/мин). Из этих сталей целесообразно изготавливать развертки, метчики, гребенки, зуборезный инструмент, протяжки.

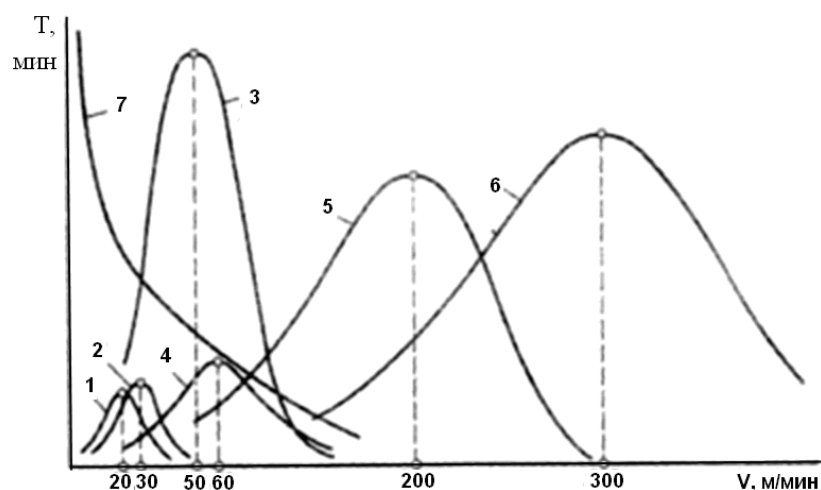


Рис. 3. Зависимость износостойкости T

инструментальных материалов от скорости резания v :

- 1 – углеродистая сталь – сталь 45; 2 – низколегированные стали – сталь 45;
 3 – быстрорежущие стали – сталь 45; 4 – твердые сплавы ВК – сталь 45;
 5 – твердые сплавы ВТК – сталь 45; 6 – минералокерамика – сталь 45;
 7 – твердые сплавы ВК – чугун

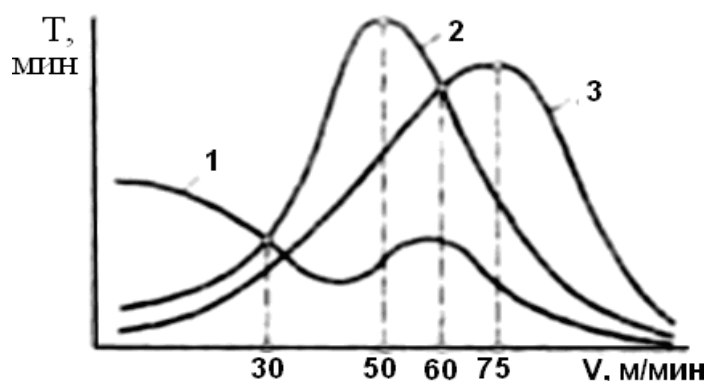


Рис. 4. Сравнительная износостойкость быстрорежущих сталей:

- 1 – высокованадиевые быстрорежущие стали;
 2 – высоковольфрамыстые быстрорежущие стали;
 3 – средне- и низковольфрамыстые быстрорежущие стали.

Ко второй группе (кривая 2) отнесены стали, содержащие $\approx 18\%$ вольфрама (P18, P18M, P18M2, P18Ф2). В интервале скоростей резания 30...60 м/мин эти марки имеют наибольшую износостойкость. Однако острый дефицит вольфрама не позволяет в настоящее время рекомендовать их для широкого применения.

Более широко поэтому используются стали третьей группы (кривая 3), содержащие 6...9% вольфрама (P6, P6M3, P6M5, P6M5K5, P9, P9K5, P9K10, P9M4K8Ф). Эти стали содержат молибден, кобальт и ванадий. Стали третьей группы обладают наибольшей износостойкостью в зоне скоростей резания свыше 60 м/мин. Из них изготавливают все виды металлорежущих инструментов, работающих в условиях больших скоростей резания.

Износостойкость твердых сплавов подгруппы ВК при обработке конструкционных сталей (кривая 4, см. рисунок 3) гораздо ниже износостойкости быстрорежущих сталей. Твердые сплавы подгруппы ВК малопригодны для

обработки сталей. В то же время при обработке чугунов (кривая 7), особенно в зоне малых скоростей резания, износостойкость сплавов этой подгруппы достаточно высока, что и определяет область их основного применения. Только в случаях обработки термообработанных сталей и при прерывистом резании бывает целесообразно использовать сплавы этой подгруппы, причем лучше те, которые имеют повышенное содержание кобальта.

Износостойкость твердых сплавов подгруппы ВТК отражается кривой 5 (см. рисунок 3). По абсолютной величине она меньше, чем у быстрорежущих сталей, но расположение максимума соответствует высоким скоростям резания ($v \approx 200$ м/мин), что согласуется с их возможностями по температуростойкости.

Более подробное рассмотрение износостойкости твердых сплавов этой подгруппы показывает, что увеличение в составе сплава карбидов титана ведет к смещению максимума износостойкости в сторону больших скоростей резания. Так, при обработке стали 45 увеличение содержания в сплаве карбида титана TiC от 15 до 60 %, позволяет увеличить скорость резания, соответствующую максимальной износостойкости, в 2 раза. Инструменты, оснащенные пластинками из твердых сплавов подгруппы ВТК, используются для высокопроизводительной обработки конструкционных сталей.

Минералокерамика имеет весьма высокую износостойкость (кривая 6, см. рисунок 3). При обработке конструкционных сталей максимум износостойкости минералокерамики находится в области скоростей резания порядка 300 м/мин, а при обработке чугуна – ≈ 600 м/мин.

Нитрид бора (эльбор) и синтетический алмаз имеют износостойкость большую, чем все остальные инструментальные материалы. Инструменты, оснащенные этими материалами, способны вести чистовую обработку со скоростями резания до 1000 м/мин.

Разработка новых марок инструментальных материалов неизменно будет вестись по пути повышения рассмотренных двух свойств – температуро- и износостойкости, определяющих режущую способность инструментов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грановский, Г. И. Резание металлов: учебник для машиностроения и приборостроения специальных вузов / Г. И. Грановский, В. Г. Грановский. – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с.
2. Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент М54: справочник / В. С. Самойлов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
3. Режущие инструменты, оснащенные сверхтвердыми и керамическими материалами, и их применение: справочник / В. П. Жедь [и др.]. – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.
4. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: справочник / В. И. Баранчиков [и др.]; под общ. ред. В. И. Баранчикова. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.

Индивидуальные задания

Номер варианта	Марки материалов					
	1	У10	11ХФ	11Р3АМ3Ф2	ВК3	ТН-20
2	У10А	12Х1	Р10Ф5К5	ВК3-М	КТН-16	ВО13
3	У11	13Х	Р12	ВК4-В	КТН-20	ВШ75
4	У11А	3Х2МНФ	Р12Ф3	ВК6	КТН-30	ВЗ
5	У12	4ХМНФС	Р14Ф4	ВК6-М	КХН-40	ВОК60
6	У12А	4ХС	Р18	ВК6-ОМ	КХН-35	ВОК63
7	У13	5ХВ2СФ	Р18К5Ф2	ВК6-В	КХН-30	ОНТ-20
8	У13А	5ХНВ	Р18Ф2	ВК8	КХН-20	Силинит-Р
9	У7	5ХНВС	Р18Ф2К5	ВК8-В	КХН-1115	Композит 01
10	У7А	6Х3МФС	Р2АМ9К5	ВК8-ВК	КХН-10	Композит 02
11	У8	6Х4М2ФС	Р6М3	ВК10	КТНМ-30А	Композит 05
12	У8А	6Х6В3МФС	Р6М5	ВК10-КС	КТНМ-30Б	Композит 09
13	У8Г	7ХФ	Р6М5К5	ВК11-В	ТНМ-20	Композит10
14	У8ГА	8Х6НФТ	Р6М5Ф3	ВК11-ВК	ТНМ-25	Киборит
15	У9	8ХФ	Р9	ВК15	ТНМ-30	Вюрцин
16	У9А	9Г2Ф	Р9К10	ВК20	ТН-20	Боразон
17	У10	9Х1	Р9К5	ВК20-КС	КТН-16	Амборит
18	У10А	9Х5ВФ	Р9М4К8	ВК10-ХОМ	КТН-20	Сумиборон
19	У11	9ХВГ	Р9Ф5	Т30К4	КТН-30	СВБН
20	У11А	9ХС	Р10Ф5К5	Т15К6	КХН-40	СКМ
21	У12	9ХФ	Р12	Т14К8	КХН-35	АСБ-5
22	У12А	9ХФМ	Р12Ф3	Т5К10	КХН-30	АСБ-5А
23	У13	В2Ф	Р14Ф4	Т8К7	КХН-20	АСБ-6
24	У13А	Х	Р18	ТТ7К12	КХН-1115	АСПК-1
25	У7	ХВ4	Р18К5Ф2	ТТ8К6	КХН-10	АСПК-2
26	У7А	ХВ4Ф	Р18Ф2	ТТ10К8-Б	КТНМ-30А	АСПК-3
27	У8	ХВГ	Р18Ф2К5	ТТ20К9	КТНМ-30Б	АРС3
28	У8А	ХВСГ	Р2АМ9К5	ТН-50	ТНМ-20	АРС4
29	У8Г	В11М7К23	Р6М3	ВК8-ВК	ТНМ-25	АСТ-160
30	У8ГА	В4М12К23	Р6М5	ВК10	ТНМ-30	Славутич

ОГЛАВЛЕНИЕ

Порядок выполнения работы	3
1 Требования, предъявляемые к инструментальным материалам	3
2 Классификация инструментальных материалов	7
2.1 Углеродистые инструментальные стали	7
2.2 Легированные инструментальные стали	9
2.3 Быстрорежущие стали	9
2.4 Твердые (металлокерамические) сплавы	13
2.5 Минералокерамические материалы	17
2.6 Сверхтвердые материалы (СТМ)	19
3 Сравнительная оценка режущих свойств инструментальных материалов	23
Библиографический список	27
Приложение	28

СОВРЕМЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению контрольных работ
для студентов направления подготовки бакалавров
15.03.01 «Машиностроение»
(профиль «Технологии, оборудование и автоматизация
машиностроительных производств»)
заочной формы обучения

Составитель
Жачкин Сергей Юрьевич

Издается в авторской редакции

Подписано к изданию 10.06.2022.
Уч.-изд. л. 1,5.

ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический
университет"
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84