

Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Уральский государственный университет путей сообщения
Кафедра «Проектирование и эксплуатация автомобилей»

Г. Н. Завьялова

Материалы для режущих инструментов

Екатеринбург
Издательство УрГУПС
2012

Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Уральский государственный университет путей сообщения
Кафедра «Проектирование и эксплуатация автомобилей»

Г. Н. Завьялова

Материалы для режущих инструментов

Методические рекомендации
к выполнению лабораторной работы по дисциплине
«Материаловедение и технология конструкционных материалов»
для студентов направлений подготовки 190300 – «Подвижной состав железных
дорог» и 190600 – «Эксплуатация транспортно-технологических машин
и комплексов» всех форм обучения

Издание второе,
дополненное и исправленное

Екатеринбург
Издательство УрГУПС
2012

УДК 621.7
3–13

Завьялова, Г.Н.

3–13 Материалы для режущих инструментов: метод. рекомендации к выполнению лабораторной работы / Г. Н. Завьялова. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2012. – 31,[1] с.

Рассмотрены свойства, классификация и маркировка инструментальных сталей, твердых сплавов, керамических и сверхтвердых режущих материалов.

Описана область применения материалов для режущих инструментов, а также соответствие марок твердых сплавов международной классификации.

Рекомендации разработаны в соответствии с учебной программой дисциплины «Материаловедение и технология конструкционных материалов» и предназначены для студентов направлений подготовки 190300 – «Подвижной состав железных дорог» и 190600 – «Эксплуатация транспортно технологических машин и комплексов».

Могут быть использованы при выполнении курсовой работы по разделу ТКМ «Обработка металлов резанием», а также для самостоятельной работы при изучении лекционного материала.

УДК 621.7

Печатается по решению редакционно-издательского совета университета.

Автор: Г. Н. Завьялова – ст. преподаватель кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей», УрГУПС;

Рецензент: В. Ф. Лапшин – профессор кафедры «Вагоны», д-р техн. наук, УрГУПС

Оглавление

Введение	4
1. Сведения из теории	5
2. Содержание отчета	24
Контрольные вопросы	26
Библиографический список	27
Приложение 1.....	28
Приложение 2	29

Введение

Режущие инструменты, используемые при механической обработке, формируют наружные, внутренние, фасонные и комбинированные поверхности деталей. Работоспособность такого инструмента может быть обеспечена только в том случае, если его рабочая часть выполнена из инструментального материала, обладающего комплексом определенных физико-механических свойств.

Исторически сложилось, что технология обработки материалов резанием развивалась скачкообразно. Каждому скачку технологии на более высокий уровень предшествуют изобретение и разработка новых инструментальных материалов с лучшими физико-механическими свойствами.

Инструменты, оснащенные новыми инструментальными материалами, имеют более высокие режущие свойства, могут работать на высоких скоростях, более производительны и экономичны.

Все известные на сегодняшний день материалы для режущих инструментов объединены в четыре группы. Создание каждой последующей группы связано со скачком в области станкостроения и механической обработки деталей машин, так как существует безусловная связь между режимными возможностями инструмента и техническим уровнем металлорежущих станков.

Применение того или иного инструментального материала из той или иной группы в конкретных производственных условиях обуславливается служебным назначением станка и режущего инструмента, требуемой эффективностью процесса обработки, качеством и точностью обработанных поверхностей, материалом и видом заготовок.

Большое число марок различных по свойствам инструментальных материалов, в том числе и сверхтвердых материалов, керамики может решить проблему обработки заготовок из самых разнообразных материалов на самых разнообразных станках, начиная с универсальных станков и заканчивая станками с ЧПУ и гибкими производственными системами с микропроцессорным управлением.

Материалы для режущих инструментов

Цель работы: изучение принципов маркировки разных видов инструментальных материалов, их свойств и специфики применения для обработки резанием.

Задание: ознакомиться со сведениями из теории по данным методическим указаниям;

– дать полную характеристику инструментального материала режущих инструментов, выданных на занятии.

Необходимые пособия, оборудование и материалы:

- методические рекомендации к выполнению лабораторной работы;
- набор режущих инструментов;
- справочники [4, 5, 6] и ГОСТы.

1. Сведения из теории

Определение

Материалы для режущих инструментов – инструментальные материалы, используемые для изготовления режущего инструмента (резцов, фрез, сверл, метчиков и т. д.), либо для оснащения его рабочей части.

Для корпусов составного и сборного инструмента применяют более дешевый конструкционный материал: Ст5, Стали 10, 45, 40Х, 40ХН (см. рис. 1), и только его рабочая часть изготовлена из инструментального материала.

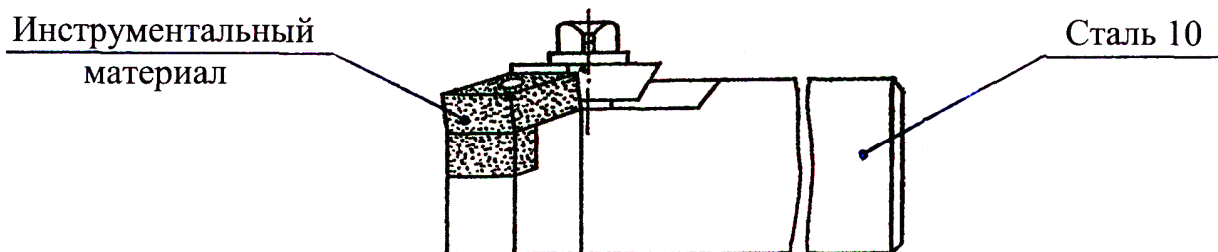


Рис. 1. Резец, оснащенный инструментальным материалом

Классификация инструментальных материалов

При изготовлении режущих инструментов для обработки материалов в отечественной промышленности используется широкая номенклатура инструментальных материалов, которые подразделяются на *четыре основные группы* (рис. 2).



Рис. 2. Классификация инструментальных материалов

Требования к материалам для режущих инструментов

1. *Высокая твердость (HRC, HRA, HRV)*, необходимая для внедрения в обрабатываемый материал и для того, чтобы исключить пластическое течение рабочих кромок инструмента при повышении температуры в зоне резания.

Твердость инструментального материала может быть природной, свойственной этому материалу при его образовании, и полученной специальной обработкой. Например, инструменты из инструментальных сталей подвергают термообработке для получения высокой твердости и прочности.

В любом случае, твердость материала режущего инструмента должна в 2-3 раза превышать твердость обрабатываемого материала. Однако чрезмерное увеличение твердости, как правило, приводит к увеличению хрупкости, снижению вязкости и образованию трещин в инструментальных материалах. Поэтому важно оптимальное соотношение твердости инструментального и обрабатываемого материалов.

2. *Механическая прочность (σ_v , $\sigma_{сж}$, KCU)*, необходимая инструмен-

тальному материалу для исключения поломки инструмента.

Работе инструментов сопутствуют высокие статистические напряжения, чаще всего напряжения изгиба или кручения, а для фрез и обдирочных резцов – динамические напряжения. В этом случае очень важной характеристикой является величина ударной вязкости КСУ, особенно при прерывистом резании, ударной нагрузке на инструмент и переменной глубине резания. Инструментальные стали имеют ударную вязкость в несколько раз большую, чем твердые сплавы, керамика и сверхтвердые материалы.

Если инструмент эксплуатируется в условиях циклических нагрузок, то наряду с механической прочностью инструментальные материалы должны обладать высоким пределом выносливости.

Режущие свойства инструментального материала определяются его высокой твердостью и высокой механической прочностью.

3. *Теплостойкость* (θ) – способность материала сохранять свою структуру и твердость до рабочих температур; измеряется в градусах Цельсия или Кельвина. Теплостойкость зависит от химического состава инструментального материала.

В условиях периодического изменения температуры (например, при прерывистом резании), инструментальный материал должен быть мало чувствительным к циклическим изменениям температуры и его теплостойкость должна быть выше предельной температуры в зоне резания.

Кроме того, чем выше теплостойкость, тем выше допустимая скорость резания при обработке, а значит, тем выше производительность обработки.

Для инструментальных сталей вместо термина «теплостойкость» принято употреблять термин «красностойкость».

Красностойкость – способность стали сохранять при нагреве до температур красного каления высокую твердость и износостойкость, полученные в результате термической обработки. Красностойкость достигается легированием стали тугоплавкими элементами – W, Mo, V, а также высокотемпературной закалкой.

4. *Износостойкость* (B) – способность инструментального материала сопротивляться истирающему действию материала заготовки. Этот показатель является комплексным свойством и зависит от всех вышеперечисленных свойств – твердости, прочности и теплостойкости.

Износостойкость зависит также от истирающих свойств обрабатываемого материала.

5. *Теплопроводность* (λ) – способность инструментального материала отводить тепло с лезвия в тело инструмента – в державку с целью снижения вероятности перегрева его режущих кромок.

Теплопроводность зависит от химического состава инструментального материала и температуры нагрева инструмента.

Присутствие в химическом составе инструментального материала вольфрама W и ванадия V *снижает* его теплопроводность, а при легировании

титаном Ti, молибденом Mo и кобальтом Co теплопроводность *повышается*.

Часто требуемое сочетание отдельных свойств (например, высокой твердости HRC и ударной вязкости KCU) обеспечить трудно. Предпочтение отдается одному или нескольким основным свойствам, которые для данного типа инструмента отвечают за его работоспособность. Для большинства режущих инструментов *основными свойствами считаются теплостойкость и износостойкость*.

6. Отсутствие сродства с обрабатываемым материалом.

Необходимым условием достижения высоких режущих свойств инструмента является низкая физико-химическая активность инструментального материала по отношению к обрабатываемому материалу. Поэтому кристаллохимические свойства инструментального материала должны существенно отличаться от кристаллохимических свойств обрабатываемого материала. Степень такого отличия сильно влияет на адгезионные, усталостные, окислительные процессы, происходящие при резании, а также влияет на изнашивание рабочих поверхностей инструментов и качество обработанных поверхностей. Рекомендуется применять такой инструментальный материал, который не имел бы сродства с обрабатываемым материалом.

7. Технологичность инструментального материала – комплекс свойств, характеризующий возможность изготовления режущих инструментов из конкретного инструментального материала. Например, если инструментальный материал обладает плохой шлифуемостью, то невозможно изготовление и переточка инструментов со сложным профилем, а слишком узкий температурный интервал нагрева инструментального материала при термообработке может снизить качество инструмента и даже привести к браку.

8. Экономичность инструментального материала.

Экономичность в основном зависит от химического состава материала для режущего инструмента. Введение большого количества дорогостоящих легирующих элементов (вольфрама, кобальта и т. д.) существенно увеличивает стоимость инструментальных материалов и сужает область их применения. Поэтому перед использованием инструмента обычно делают оценку его экономической эффективности с учётом стоимости инструментального материала.

Данные представленные на рис. 3 показывают, что ни один из существующих инструментальных материалов не сочетает в себе весь комплекс требований – высокую твердость, теплостойкость, механическую прочность, износостойкость. Именно поэтому инструментальные материалы не обладают универсальностью, их рекомендуется применять для конкретных условий обработки и требуемого качества изготавливаемых деталей.

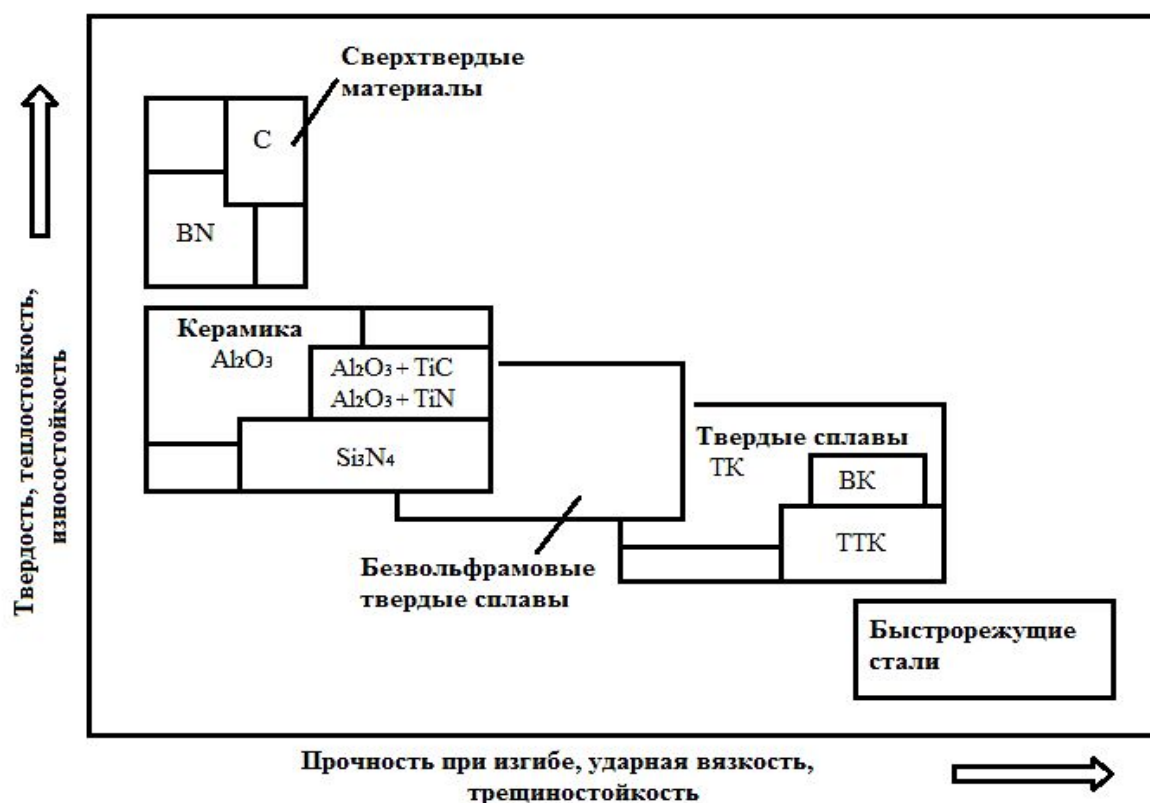


Рис. 3. Классификация инструментальных материалов по свойствам

Виды инструментальных материалов

Инструментальные стали

К этой группе относятся 3 вида сталей:

- *нелегированные инструментальные стали;*
- *легированные инструментальные стали;*
- *быстрорежущие стали.*

По твердости и прочности эти стали незначительно отличаются друг от друга. Основное их отличие – различная теплостойкость (см. приложение 1).

1. Нелегированные инструментальные стали (ГОСТ 1435-99)

У7, У7А, У8, У8А, У8Г, У8ГА, У9, У9А, У10, У10А, У12, У12А.

Буква **У** в маркировке показывает, что сталь является углеродистой, цифра указывает на среднюю массовую долю углерода в десятых долях процента, буква **Г** обозначает присутствие $Mn > 1\%$. Буква **А** в обозначении соответствует высококачественным сталям с пониженным содержанием вредных примесей – серы и фосфора.

Инструмент из углеродистых сталей выдерживает при резании температуру нагрева лишь до $200^\circ - 220^\circ\text{C}$. Выше этих температур резко

снижается твердость углеродистой инструментальной стали, поэтому инструмент из этих сталей нельзя применять на высоких скоростях резания, вызывающих большое тепловыделение и высокий нагрев поверхностей инструмента.

Из этих сталей изготавливается ручной слесарный инструмент: зубила, напильники, метчики, плашки, пилы, развертки, которые подвергают неполной закалке и низкому отпуску при 150° – 180°С на структуру мартенсита с включениями цементита. Несквозная закалка уменьшает деформацию закаленных инструментов и повышает, благодаря вязкой сердцевине, их устойчивость к ударам и вибрациям.

2. Легированные инструментальные стали (ГОСТ5950 -2000)

ХВ4Ф; 9ХС; 9ХФ; 9Г2Ф; 9Х5ВФ; ХВГ; Х12МФ; Х; ХГС; 4Х3ВМФ; ХВСГФ; В2Ф; Х12; Х12Ф1; 11Х4В2МФ3С2; Х6ВФ и другие.

Для повышения тех или иных свойств углеродистых инструментальных сталей в их состав вводят легирующие элементы, которые обозначают буквами русского алфавита в марках сталей.

Так, никель (**Н**) после соответствующей термообработки стали увеличивает ее вязкость и прокаливаемость.

Марганец (**Г**) увеличивает прокаливаемость и прочность стали, ускоряет процесс цементации, повышает ее износостойкость и обеспечивает минимальное изменение размеров инструментов при их закалке.

Введение хрома (**Х**) повышает прочность стали в результате растворения хрома в железной основе с образованием карбидов.

Вольфрам (**В**) повышает твердость, теплостойкость и износостойкость стали за счет образования сложных карбидов и уменьшает ее склонность к росту зерна при нагреве.

Ванадий (**Ф**) увеличивает твердость, резко уменьшает склонность стали к росту зерна при нагреве, но ухудшает ее шлифуемость (одно из технологических требований к материалам для).

Молибден (**М**) уменьшает склонность стали к отпускной хрупкости, повышает ее прокаливаемость, несколько повышает прочность, пластичность и вязкость.

Кремний (**К**) обеспечивает более равномерное распределение карбидов, повышает сопротивление отпуску и способствует образованию легко отделяющейся окалины.

Таким образом, введение легирующих элементов в состав стали позволяет связать некоторое количество углерода в карбиды и тем самым повысить ее красностойкость до 250 °С. Это позволяет повысить скорость резания в 1,5 раза по сравнению с углеродистой инструментальной сталью. Кроме того, увеличивается прокаливаемость стали, что дает возможность использовать легированные инструментальные стали для изготовления режущих инструментов сложной формы с размерами сечения свыше 20мм, работающих при небольших скоростях резания, а следовательно, не вызывающих нагрева инструмента более 250 °С (сверла, протяжки, метчики, фрезы).

В марках сталей *первая цифра* указывает на содержание углерода в десятых долях процента (если цифра отсутствует, то содержание углерода составляет примерно 1 %), а *буквы и последующие за ними цифры* – на содержание соответствующих легирующих элементов, выраженное в процентах.

Например, рассмотрим химический состав стали ХВ4Ф: углерод С – 1 %, хром Cr – 1 %, вольфрам W – 4 %, ванадий V – менее 1 %, остальное – железо Fe и различные примеси.

ХВ4Ф отличается особо высокой твердостью и износостойкостью благодаря присутствию карбидов вольфрама, которые практически не растворяются при температуре закалки; её называют *алмазной сталью* и применяют для чистовой обработки твердых материалов.

ХВГ характеризуется малой деформацией при закалке и, поэтому, применяется для длинных стержневых инструментов (сверла, протяжки, развертки).

9ХС имеет высокую устойчивость к отпуску (до 260° С) и применяется для фрез и резбонарезных инструментов.

3. Быстрорежущие стали (ГОСТ 19265 -73)

Нормальной производительности Р9; Р18; Р6М5; 11РЗАМЗФ2 и другие.

Повышенной производительности Р6М5Ф3; Р12Ф3; Р18К5Ф2; Р9К5; Р6М5К5, Р9М4К8; Р2АМ9К5 и другие.

В настоящее время быстрорежущие стали – основной материал для изготовления режущих инструментов, несмотря на то, что инструменты из твердых сплавов, керамики и сверхтвердых материалов обеспечивают более высокую производительность обработки.

Широкое использование быстрорежущих сталей для изготовления сложно-профильных высокопроизводительных инструментов определяется сочетанием высоких значений твердости (до 70 HRC) и красностойкости (до 650 °С) при повышенном уровне механической прочности и ударной вязкости, существенно превышающих соответствующие значения для твердых сплавов. Кроме того, быстрорежущие стали обладают достаточно высокой технологичностью, так как хорошо обрабатываются в отожженном состоянии.

Благодаря наличию в быстрорежущих сталях большого количества легирующих элементов, образующих с углеродом теплостойкие карбиды, образования карбидов железа практически не происходит, и разупрочнение быстрорежущих сталей начинается при более высоких температурах по сравнению с углеродистыми и легированными инструментальными сталями. Высокие показатели твердости, прочности и красностойкости приобретаются в результате двойного упрочнения – мартенситного при закалке и дисперсионного твердения при высоком отпуске (500 – 620°С), вызывающего выделение упрочняющих фаз.

Все быстрорежущие стали являются *высоколегированными*, так как сумма легирующих элементов в любой марке стали превышает 10 %.

Маркировка быстрорежущих сталей начинается с буквы **Р** – быстрорежущая (от англ. слова «rapid» – быстрый), а *цифра, следующая за буквой*, –

среднюю массовую долю вольфрама – основного легирующего элемента быстрорежущих сталей.

Массовая доля ванадия (V до 2 %), хрома (Сг до 4 %), молибдена (Мо до 1 %) одинаковая во всех сталях, в марке не указывается. Стали, содержащие дополнительно молибден Мо, кобальт Со или повышенное количество ванадия V, имеют в марке соответственно буквы М, К, Ф и цифры, показывающие их массовую долю в процентах.

При легировании сталей марок Р6М5 и Р6М5Ф3 азотом (массовая доля азота составляет 0,05-0,10 %) в их марке добавляется буква А, например, Р6АМ5 и Р6АМ5Ф3.

Если в стали $W = 8,5-19 \%$, а $Сг = 3,8-4,4 \%$, то инструмент из такой стали выдерживает в процессе резания $t = 550^{\circ}-640^{\circ}\text{C}$, не теряя при этом своих режущих свойств. Значит, и скорость резания инструментами из быстрорежущих сталей в 2-3 раза превышает скорость резания инструментами из углеродистых инструментальных сталей (см. приложение 1).

По уровню красностойкости и, соответственно, по применяемым скоростям резания, быстрорежущие стали классифицируют на стали нормальной производительности и стали повышенной производительности.

Стали нормальной производительности характеризуются умеренной теплостойкостью ($\theta = 615^{\circ}-620^{\circ}\text{C}$). Считается, что 1 % Мо заменяет 2 % W, отсюда, основной маркой данной группы является сталь Р6М5, которая пригодна для изготовления практически любых инструментов, предназначенных для резания углеродистых и низколегированных конструкционных сталей. К этой группе относятся также стали Р9, Р18 и 11РЗМЗФ2.

Сравним стали Р9 и Р18 по химическому составу (см. ГОСТ 19265-73).

Р9: С~0,84%,

Сг~4 %,

W~9 %,

V~2 %,

остальное – Fe.

Р18: С~0,84 %,

Сг~4 %,

W-18 %,

V-1 %,

остальное – Fe.

Вольфрама в стали Р9 в 2 раза меньше (что удешевляет сталь), а ванадия в 2 раза больше, что делает эту сталь по её режущим свойствам равноценной стали Р18 (так как, в частности, возрастает λ), поэтому сталь Р18 в настоящее время применяют ограничено.

В связи с возрастающим дефицитом вольфрама, молибдена и кобальта хорошую перспективу имеет экономнолегированная сталь 11РЗМЗФ2, которая используется при производстве различных видов режущих инструментов не только в отечественной промышленности, но и за рубежом.

К группе *сталей повышенной производительности* относятся стали, содержащие ванадий и кобальт: Р6М5Ф3, Р12Ф3, Р9К5, Р18К5Ф2, Р6М5К5, Р9М4К8, Р2АМ9К5 и другие.

Наличие ванадиевых карбидов повышает твердость и износостойкость

сталей этой группы, но снижает их шлифуемость из-за того, что твердость карбидов ванадия соизмерима с твердостью зерен шлифовального круга. Ванадиевые стали применяются для чистовой и получистой обработки материалов, обладающих достаточно высокой твердостью. Наиболее распространенной маркой является сталь Р6М5Ф3.

Введение кобальта в состав быстрорежущих сталей существенно повышает их твердость, красностойкость и теплопроводность. Кобальт не является карбидообразующим элементом, поэтому его введение приводит к увеличению температуры превращений, повышается химическая активность углерода, вольфрама и молибдена в феррите, что является причиной образования большого количества дисперсных частиц, выполняющих роль фазовых упрочнителей при отпуске.

Но кобальтовые стали имеют ряд недостатков: низкая пластичность, высокая склонность к обезуглероживанию при нагреве под горячую деформацию и закалку, некоторое снижение прочностных свойств. Отмеченные недостатки определяют достаточно узкую область их рационального использования. Учитывая высокую стоимость кобальтовых сталей, их применение оправдано только для обработки высокопрочных, коррозионно-стойких, жаропрочных сталей и других труднообрабатываемых материалов или при автоматизированной обработке, когда к режущим инструментам предъявляют высокие требования по надежности. Наиболее распространенной маркой кобальтовых сталей является сталь Р6М5К5.

Быстрорежущие стали обеих групп используют для изготовления резцов, сверл, зенкеров, разверток.

Сопоставление по химическому составу отечественных марок быстрорежущих сталей с некоторыми зарубежными марками, позволяет выбрать сплавы-аналоги, которые приведены в приложении 2.

Новые быстрорежущие стали

Все легированные и быстрорежущие стали имеют существенный недостаток, приводящий к снижению прочности – неравномерное распределение карбидов в структуре стали. Для снижения карбидной неоднородности быстрорежущие стали могут быть получены *методом порошковой металлургии*.

Порошковые стали имеют в маркировке дополнительные обозначения – МП (материал порошковый): Р12МФ5-МП, Р6М5К8Ф2-МП (ТУ 14-1-3647-83).

Эти стали имеют в 2 раза большую прочность при изгибе и более высокую износостойкость. Это позволяет использовать их на повышенных подачах, что важно при реализации черновой обработки резанием. Порошковая быстрорежущая сталь обладает более высокой красностойкостью и технологичностью (имеет технологическую пластичность и хорошую шлифуемость), но является чрезвычайно дорогой.

Особое место занимают быстрорежущие стали с *интерметаллидным упрочнением*: В4М12К23 и В11М7К23.

Это инструментальные безуглеродистые сплавы с высоким содержанием W, Mo и, особенно, Co.

Интерметаллид – химическое соединение двух и более металлов между собой.

Твердость этих сплавов достигает HRC70, теплостойкость до 700°C, поэтому они занимают промежуточное место между быстрорежущими сталями и твердыми сплавами, но превосходят последние по механической прочности.

Несмотря на описанные преимущества, данные сплавы имеют узкую область применения. Это связано с тем, что стали с интерметаллидным упрочнением характеризуются очень высокой стоимостью, низкой обрабатываемостью резанием в отожженном состоянии, а их прочностные характеристики соизмеримы с кобальтовыми сталями.

Их применяют в основном для обработки титановых сплавов. При этом стойкость инструментов в 30 раз выше стойкости инструментов из P18 и в 10 раз выше, чем из BK8.

К новым быстрорежущим сталям высокой производительности относят также стали нового класса – *карбидостали*.

Карбидостали – это композиционный материал, в котором зерна тугоплавких карбидов (преимущественно, карбида титана TiC) равномерно распределены в связке из легированной стали.

Карбидостали сочетают твердость и износостойкость твердых сплавов с механической прочностью легированных сталей.

Они маркируются следующим образом:

Р6М5 – КТ20; Р6М5К5 – КТ20 (массовая доля карбида титана TiC составляет около 20 %).

Они используются для обработки труднообрабатываемых материалов на повышенных режимах резания.

Режущие свойства инструментов (фрез, протяжек, фасонных резцов) могут быть дополнительно улучшены созданием на неперетачиваемых поверхностях *тонкого слоя* (10-50 мкм) *нитридов* или *карбонитридов*. Такой слой имеет очень высокую твердость (HV10000 и более) и износостойкость. Его получают газовым или ионным азотированием. Используют также и другие способы: низкотемпературное цианирование, напыление карбидов титана.

Для экономии быстрорежущих сталей режущий инструмент изготавливают сборным или сварным. Рабочую часть инструмента делают из быстрорежущей стали, которую сваривают с хвостовиком из конструкционной стали, либо используют пластинки, которые приваривают к державкам.

Твердые сплавы (металлокерамика)

Под твердыми сплавами понимают сплавы на основе высокотвердых и тугоплавких карбидов вольфрама (WC), титана (TiC), тантала (TaC), соединенных металлической связкой, например, кобальтом.

Карбидная фаза может состоять из одного (WC), двух карбидов (TiC и WC) или трех карбидов (TiC, TaC и WC).

Увеличение содержания связки вызывает снижение твердости, но повышает прочность и вязкость.

Твердые сплавы являются основным инструментальным материалом, обеспечивающим высокопроизводительную обработку материалов. Скорость резания, применяемая при обработке твердосплавным инструментом, в 2-5 раз выше, чем при использовании быстрорежущего инструмента.

Твердые сплавы производят в виде пластин определенных форм и размеров по ГОСТ 19042-80 (см. рис. 4), которыми оснащают режущие инструменты.

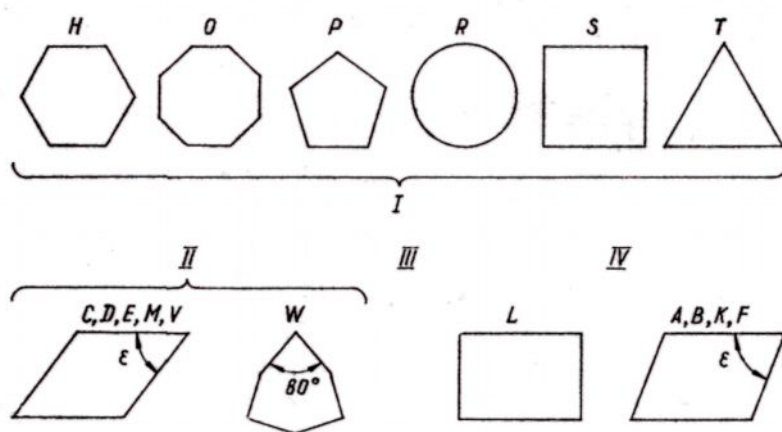


Рис. 4. Форма твердосплавных пластин

Пластины изготавливаются методом порошковой металлургии. Порошки карбидов смешивают с порошком кобальта, прессуют и спекают при $t = 1500^{\circ} - 1900^{\circ}\text{C}$ в защитной атмосфере водорода или в вакууме. При спекании кобальт плавится и растворяет часть карбидов, что позволяет получать плотный материал (пористость, как правило, не превышает 5 %), состоящий на 80 – 97 % из карбидных частиц, сцементированных кобальтовой связкой.

Полученные твердосплавные пластинки напаивают припоями из латуни Л63, Л68 или из серебра ПСр40, ПСр45 на рабочую часть металлорежущего инструмента, либо закрепляют механически - на винт.

В последнем случае твердосплавная пластинка должна иметь отверстие (см. рис. 5). Многогранные пластинки, которые крепят механическим способом, повторно не затачивают. После изнашивания одной из режущих кромок пластинку поворачивают и обработку выполняют следующей кромкой.

На пластины могут быть нанесены износостойкие покрытия, которые обеспечивают повышение скорости резания на 20 – 40 % при сохраненном пе-

риоде стойкости инструмента или позволяют увеличить стойкость инструмента при эксплуатации в том же скоростном диапазоне, что и пластины без покрытий.

Пластины с покрытиями имеют недостаток – выкрашивание и сколы режущих кромок при черновых операциях. Кроме того, процесс нанесения покрытия, особенно физическим методом осаждения, увеличивает радиус скругления режущей кромки пластин до 40 мкм, что ограничивает их применение для финишных операций, при которых требуются острые режущие кромки.

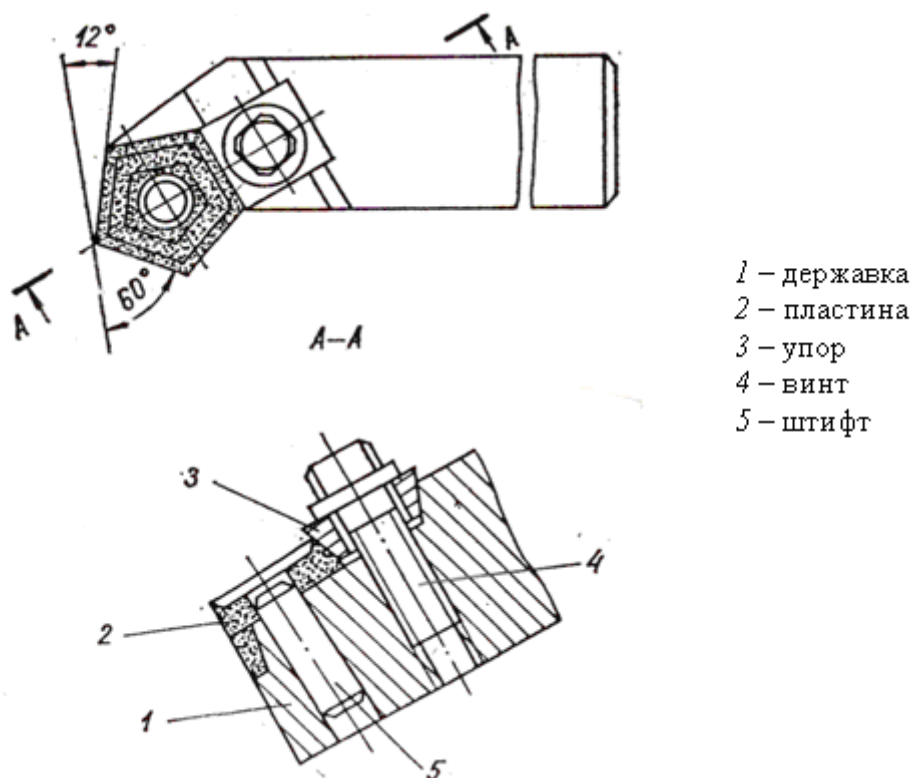


Рис. 5. Резец с механически закрепленной пластинкой

Из твердых сплавов могут быть выпущены также и цельные твердосплавные инструменты: концевые фрезы, сверла, зенкеры.

Инструменты, изготовленные из твердых сплавов, обладают высокой твердостью 80–92HRA (74–77HRC), износостойкостью, сочетающейся с высокой теплостойкостью (950°–1100°C). Твердые сплавы имеют также высокий модуль упругости и предел прочности на сжатие. Их главные недостатки – сложность изготовления фасонных инструментов, высокая хрупкость и малая теплопроводность.

Существуют три основные группы твердых сплавов (ГОСТ 3882-74), различающиеся составом карбидной массы: *вольфрамовая (однокарбидная)*; *титановольфрамовая (двухкарбидная)*; *титанотантоловольфрамовая (трехкарбидная)*.

1. Вольфрамовые твердые сплавы

ВК3; ВК6; ВК3-М; ВК6М; ВК6-ОМ; ВК6-В; ВК8; ВК8-В; ВК10; ВК10-ХОМ; ВК4-В; ВК11-В; ВК20; ВК15.

Вольфрамовую группу составляют сплавы системы WC–Co, т. е. однокарбидные твердые сплавы.

Эти сплавы маркируются буквами **ВК** и цифрой, показывающей массовую долю *кобальта* в процентах. Для примера рассмотрим химический состав сплава ВК15: Co=15%, WC = 85 %.

Если твердый сплав имеет мелкое зерно WC, то в его маркировку добавляют букву **М**, например, ВК3-М. В случае особомелкозернистой структуры (с размером зерна менее 1 мкм), в обозначение добавляют буквы **ОМ**. Особомелкозернистые твердые сплавы, легированные хромом, обозначаются буквами **ХОМ**. Структура сплавов «ОМ» и «ХОМ» позволяет при заточке и доводке инструментов достигать меньших радиусов округления режущих кромок и заметно повысить качество и точность обрабатываемых деталей. Крупнозернистые сплавы (с размером зерна 3 – 5 мкм) маркируются буквой **В**.

С уменьшением размера зерен карбидов твердость, износостойкость и, как следствие, сопротивление абразивному износу возрастает, а прочность, наоборот, снижается. Эта закономерность широко используется для создания сплавов различного назначения с требуемым комплексом свойств. Обычно, мелкозернистые сплавы применяются на чистовых операциях, а крупнозернистые сплавы – на черновых и получистовых.

Сплавы вольфрамовой группы (WC – Co) имеют наибольшую прочность, но более низкую твердость, чем сплавы других групп. Они сохраняют теплостойкость до 800°C.

2. Титановольфрамовые твердые сплавы

Т30К4; Т15К6; Т5К10; Т14К8.

Титановольфрамовые твердые сплавы – это сплавы системы WC – TiC – Co, т. е. двухкарбидные твердые сплавы.

В маркировке цифра после буквы **Т** обозначает массовую долю *карбида титана* в процентах, цифра после буквы **К** – массовую долю *кобальта* в процентах.

Например, в сплаве Т14К8: Co = 8 %

TiC = 14 %

WC = 100 - (8 + 14) = 78 %.

Сплавы титановольфрамовой группы имеют более высокую теплостойкость (до 900 – 1000°C) и твердость. Это связано с тем, что карбид вольфрама частично растворяется в карбиде титана при температуре спекания с образованием твердого раствора (Ti,W)C, имеющего более высокую твердость, чем WC.

3. Титанотанталовольфрамовые твердые сплавы

ТТ7К12; ТТ8К6; ТТ20К9; ТТ10К8Б.

Титанотанталовольфрамовые твердые сплавы – трехкарбидные твердые

сплавы системы $TiC - TaC - WC - Co$. В этих сплавах структура карбидной основы представляет собой твердый раствор $(Ti, Ta, W)C$ и избыток WC . Цифра после букв **ТТ** обозначает суммарную массовую долю (в процентах) двух карбидов $TiC + TaC$, а цифра после буквы **К** – количество кобальта в процентах.

Например, в сплаве ТТ8К6: $Co = 6 \%$
 $(TiC + TaC) = 8 \%$
 $WC = 100 - (6 + 8) = 86 \%$.

Сплавы данной группы отличаются высокими прочностными характеристиками и, как следствие, лучшей, чем сплавы других групп, сопротивляемостью вибрациям и выкрашиванию.

Каждая марка имеет свою предпочтительную область применения, в которой она обеспечивает максимальные работоспособность сплава и производительность процесса обработки.

Сравнительный анализ сплавов ВК, ТК, ТТК

Твердость сплавов определяется твердостью карбидов: чем больше в сплаве карбидов, тем выше его твердость. Но с увеличением твердости уменьшается вязкость твердого сплава. Он становится более хрупким и плохо выдерживает нагрузку на изгиб и срез, особенно, если эта нагрузка носит ударный характер.

Сплавы ВК более вязки и менее хрупки, чем сплавы ТК. Это объясняется тем, что в сплавах ТК находится большое количество свободных карбидов титана, которые очень хрупки. Поэтому *при обработке чугунов*, когда получается «сыпучая» стружка надлома и имеет место ударная, пульсирующая нагрузка вблизи режущей кромки, необходимо применять более вязкие твердые сплавы, т. е. сплавы группы ВК.

Сплавы ВК применяют также *при обработке цветных и легких металлов и сплавов, неметаллических материалов* (резина, пластмасса, фибра, стекло, фарфор, керамика, дерево).

При обработке незакаленных углеродистых и легированных сталей, когда процесс резания протекает более спокойно, центр давления стружки отстоит дальше от режущей кромки и сходящая по передней поверхности инструмента стружка оказывает большое истирающее действие, следует применять *сплавы группы ТК*.

В сравнении со сплавами ВК сплавы группы ТК имеют более высокую твердость, теплостойкость и износостойкость, что способствует менее интенсивному износу режущего инструмента. Недостаток ТК – их высокая хрупкость. Поэтому, распространённое применение сплавов ТК – обработка заготовок из пластичных и вязких металлов и сплавов, например, при точении жаропрочных сталей (при отсутствии загрязненной корки и ударов), которые обладают повышенной ударной вязкостью и пониженной теплопроводностью.

При обработке закаленных и легированных сталей ($HRC > 55$), высоколегированных нержавеющей и жаропрочных сталей с ударной нагрузкой (торцовое фрезерование, точение прерывистых поверхностей) или

при точении по загрязненной литейной корке целесообразно применение сплавов ВК.

Вязкость твердых сплавов зависит от зернистости и количества кобальта. При одинаковой зернистости, чем больше кобальта в твердом сплаве, тем более вязким является сплав.

Таким образом, исходя из влияния кобальта, сплавы ВК8, ВК6 являются более вязкими и прочными, но менее износостойкими из-за уменьшения в них карбидной фазы.

Сплавы ВК3, ВК4 менее прочны и вязки, но более износостойки.

В связи с этим ВК8 и ВК6 применяются при черновой обработке чугуна, когда припуск может быть неравномерным и когда точение ведется с большими подачами, вызывающими увеличенную нагрузку на единицу длины лезвия инструмента.

ВК3 применяется при чистовой обработке чугуна, т.е. при снятии тонкой, непрерывной стружки. Увеличенная при больших подачах стружка вызывает быстрое разрушение этого малопрочного, в сравнении с ВК8, сплава.

В сплавах ТТК добавка карбида тантала увеличивает сопротивление сплава трещинообразованию при резких перепадах температуры при прерывистом точении, а также увеличивает его прочность.

Сплавы ТТК по своим свойствам являются промежуточными между сплавами ВК и ТК. Они имеют более высокую прочность и вязкость, чем сплавы ТК, но уступают им по твердости и теплостойкости (см. приложение 1). Их применяют для тяжелого чернового точения стальных поковок, штамповок и отливок по корке с раковинами при наличии песка, шлака и неметаллических включений.

Общим недостатком рассмотренных групп твердых сплавов является повышенная дефицитность вольфрамового сырья – основного компонента, определяющего их повышенные физико-механические характеристики. Поэтому в некоторых случаях можно эффективно использовать безвольфрамовые твердые сплавы.

Безвольфрамовые твердые сплавы

TM1; TM3 (ВТУ 45-75);
TN20; KHT16 (ГОСТ 26530-85);
TN30; TN40 (ТУ 48-19-223-76);
KTN12; KHT20; KHT30 (ТУ 48-19-206-76).

Безвольфрамовые твердые сплавы – сплавы на основе карбида (TiC) и карбонитрида (TiN) титана, сцементированные никелемолибденовой связкой (Ni + Mo).

Их разработка вызвана возрастающим дефицитом на вольфрамовую руду и кобальт. Карбид вольфрама (WC) заменен в этих сплавах карбидом титана (TM1; TN30) или карбонитридом титана (KHT16; KHT30).

Рассмотрим химический состав сплавов. Например,

TN20: (Ni + Mo) = 20 %,
TiC = 80 %.

$$\text{КНТ16: (Ni + Mo) = 16 \%},$$
$$\text{TiN} = 84 \ \%.$$

Характерные свойства безвольфрамовых твердых сплавов: высокая твердость и теплостойкость, окалиностойкость, отсутствие адгезионного взаимодействия с обрабатываемым материалом, т. е. инструменты из этих сплавов работают по сталям без наростообразования, что уменьшает износ инструментов по передней и задней поверхностям, обеспечивает низкую шероховатость обработанных поверхностей и их высокую размерную точность. Благодаря их высокой плотности при заточке режущего инструмента можно получить острую кромку, что особенно ценно для инструмента, предназначенного для чистовой и тонкой обработки.

В то же время эти сплавы имеют ряд недостатков: более низкий, чем у стандартных твердых сплавов, модуль упругости и, следовательно, низкое сопротивление упругим и пластическим деформациям, меньшую теплопроводность и ударную вязкость, а значит, низкую сопротивляемость ударным нагрузкам и температуре в зоне резания. Кроме того, сплавы имеют склонность к трещинообразованию при напайке.

Указанные свойства определяют область рационального применения безвольфрамовых твердых сплавов – *чистовое точение и фрезерование* (взамен шлифования) углеродистых и легированных конструкционных сталей с высокой скоростью резания и небольшими сечениями среза.

Опыт внедрения безвольфрамовых твердых сплавов показывает, что до 25 % общего объема выпуска вольфрамсодержащих твердых сплавов может быть заменено на безвольфрамовые.

3. Керамические материалы

В-3; ВОК-60; ВО-13 (ГОСТ 26630-85);

ЦМ332; Силинит-Р (ТУ 06-3399-78); ОНТ-20 (ТУ 2-036-087-82).

Керамические материалы относятся к неметаллическим инструментальным материалам и в определенной степени решают проблему экономии дефицитного вольфрама.

Выпускаются четыре основные группы режущей керамики:

оксидная (белая керамика) на основе Al_2O_3 ,

оксидно-карбидная (керметы или черная, смешанная керамика) на основе композиции $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$,

оксидно-нитридная (картинит) на основе композиции $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiN}$,

нитридная (силинит-Р) на основе Si_3N_4 .

Обычно инструментальную керамику выпускают в виде спеченных пластин различной формы, которые механически крепятся к корпусам инструментов.

В отличие от твердых сплавов, *керамика не содержит металла* - связки.

В ее состав входят только оксиды, карбиды, нитриды. Поэтому степень разупрочнения керамики при нагреве сильно снижается, и она имеет весьма высокие значения теплостойкости (до 1400°C) и твердости (до 96 HRA). Это позволяет осуществлять обработку керамическими инструментами на скоростях резания,

которые до 2,5 раз превышают скорости резания твердосплавными инструментами. В то же время, отсутствие связующей фазы в структуре керамики определяет ее низкую трещиностойкость и прочность.

Еще одной специфической особенностью керамики является высокая чувствительность к колебаниям температуры. Поэтому для уменьшения опасности возникновения «тепловых ударов», обработку изделий керамическими инструментами рекомендуется вести *без применения СОЖ*.

Основа белой керамики – корунд – минерал кристаллического строения белого цвета, состоящий из окиси алюминия Al_2O_3 и называемый электрокорундом в случае получения в электропечах.

Из измельченных до 1–2 мкм кристаллов электрокорунда с добавкой стекла (около 5 %) как связывающего вещества, изготавливаются пластинки под марками **ЦМ332** и **ВО-13**. Пластинки имеют белый цвет, ими оснащается режущий инструмент.

Свойства белой керамики:

- 1) высокая твердость (приближающаяся к твердости алмаза);
- 2) природная теплостойкость $\theta = 1500^\circ\text{C}$;
- 3) низкая прочность и высокая хрупкость (см. приложение 1)

Режущие лезвия белой керамики могут выкрашиваться в процессе резания, поэтому она пригодна *только для тонкой окончательной обработки* с малыми подачами, но высокими скоростями резания (до 600 м/мин).

Керметы (черная, окисно-карбидная керамика) имеют состав белой керамики с добавлением карбидов W, Ti, Mo, которые придают керметам практически черную окраску и частично устраняют склонность белой керамики к выкрашиванию. Они имеют марки **ВОК-60** и **В-3**.

Свойства керметов:

- 1) более низкая из-за карбидов тугоплавких металлов теплостойкость $\theta = 1300^\circ\text{C}$;
- 2) в 2 раза более высокая прочность при изгибе;
- 3) одинаковая с белой керамикой твердость.

Керметы применяют для *чистовой и получистовой обработки* без ударов *закаленных сталей*, всех видов *чугунов* (с твердостью 190–340НВ) со скоростями резания в 2–3 раза большими, чем для твердых сплавов. Одна режущая пластина из В-3 или ВОК-60 заменяет 6–8 пластин из твердого сплава.

Картинит – материал, разработанный на основе алюмооксидной керамики и обозначается **ОНТ-20**. Имеет мелкозернистую структуру и предназначен для *получистового точения и фрезерования закаленных сталей*.

Силинит – Р (режущий) – керамика на основе нитрида кремния Si_3N_4 с легированием оксидами циркония и алюминия. По свойствам близка к ВОК-60. Применяют при *получистовой и чистовой обработке чугуна*, а также цветных металлов и полимерных материалов.

Учитывая высокую вероятность (более 50 %) внезапного отказа инструмента из-за хрупкого разрушения в виде выкрашиваний и сколов, в России и

ряде зарубежных стран ведутся активные работы по созданию новых марок керамики с целью повышения их прочностных характеристик. К таким работам относится керамика, армированная «нитевидными кристаллами» SiC или легированная TiB₂, ZrO₂, а также используются более современные технологии получения керамических пластин – горячее изостатическое прессование и новые способы нанесения износостойких покрытий.

4. *Сверхтвердые материалы*

K01; K05; K10 (ТУ 2-035-982-85); Боразон; Амборит; Вюрцин; А; АСБ; АСПК; СВБН; Мегадаймонд; Карбонит; Компакс.

К этой группе относятся два вида неметаллических поликристаллических режущих материалов:

- *композиты*;
- *алмазы*.

В основе технологии изготовления поликристаллов лежат два различных процесса: первый – фазовый переход вещества из одного состояния в другое (синтез) и второй – спекание мелких частиц заранее синтезированного порошка сверхтвердых материалов (ПСТМ). В нашей стране первым способом получают поликристаллический нитрид бора (ПКНБ), а также поликристаллический алмаз (АСПК). Прежде чем синтезированные спеки ПКНБ и АСПК могут быть использованы в качестве металлорежущих инструментов, они должны быть разрезаны электроэрозионным или лазерным способом на многогранные пластины стандартных размеров или фрагменты произвольной формы и отшлифованы.

Фрагменты запаивают либо в вершины корпусов стандартных твердосплавных пластин, либо в напайные инструменты.

ПСТМ – принципиально новые как по технологии изготовления, так и по условиям эксплуатации инструментальные материалы. Ими можно обрабатывать изделия при скоростях резания на порядок выше допускаемых при использовании твердосплавных инструментов и даже инструментов из керамики.

Практика показывает, что во многих случаях точение инструментами из ПСТМ намного эффективнее процесса шлифования, так как такие инструменты обеспечивают бесприжоговую обработку при работе на высоких скоростях резания и низкую шероховатость обработанной поверхности.

Композиты – это искусственные минералы темного цвета на основе синтеза азота с бором (BN).

Все композиты разделены на 2 группы.

1 группа. Композиты с массовой долей *гексагонального нитрида бора* 95 % и более.

Сюда относят композиты: **K01** – эльбор - Р;

K02 - белбор;

K09 - ПТНБ;

K10 - гексанит – Р.

2 группа. Композиты с массовой долей *кубического нитрида бора* 75 % и легирующими добавками. Они имеют маркировку: **K05**; **K05И**.

Свойства композитов:

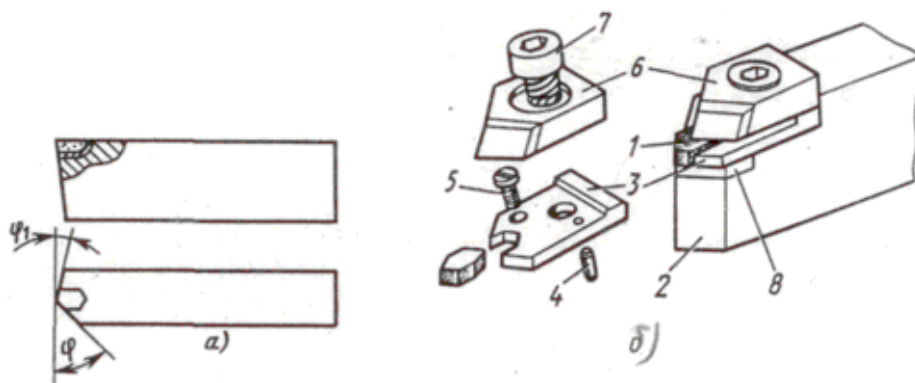
- 1) высокая твердость, приближающаяся к твердости синтетического алмаза;
- 2) высокая прочность, сравнимая с прочностью твердых сплавов;
- 3) очень высокая теплостойкость $\theta = 1600^\circ\text{C}$, превосходящая теплостойкость всех известных инструментальных материалов;
- 4) повышенная хрупкость и низкая прочность на изгиб;
- 5) инертность по отношению к углероду и железу. Инструменты, оснащенные режущими вставками из композитов, применяют для обработки металлов, содержащих углерод и железо.

Наибольшую твердость имеет композит K01, а наибольшую прочность – композит K10.

Сверхтвердые материалы на основе нитрида бора выпускают в виде столбиков диаметром 4–6 мм и высотой 3–6 мм, либо в виде пластин трехгранной, квадратной, ромбической форм для оснащения резцов (см. рис. 4), фрез, разверток, зенкеров, используемых для обработки деталей на гибких автоматических линиях и станках с числовым программным управлением.

Композитами обрабатываются *закаленные стали и чугуны начисто*.

Для оснащения инструментов используют также *технические алмазы*, которые могут быть природными (маркируются А) и синтетическими (маркируются АС).



1 – многогранная пластина; 2 – корпус; 3 – обойма; 4 – штифт;
5 – винт крепления обоймы; 6 – прихват; 7 – винт крепления прихвата;
8 – твердосплавная подкладка

Рис. 6. Конструкции резцов с режущими элементами из алмаза и композита

Синтетические алмазы – поликристаллы, содержащие примеси тугоплавких металлов – W, Ti, Mo, которые выполняют функции катализаторов синтеза. Эти алмазы имеют различное строение и свойства в зависимости от технологии выращивания и называются *балласы (АСБ)* и *карбонадо (АСПК)*.

Теплостойкость алмазов составляет 700–800 °C (при более высоких температурах алмаз сгорает).

Алмазы обладают очень высокой твердостью, которая до 5 раз превышает соответствующий показатель для твердых сплавов, но чрезвычайно хрупки; имеют низкую теплостойкость до 700°C (см. приложение 1), но очень высокую теплопроводность. При температуре 600°–750°C алмазы химически активны в контакте с черными металлами, поэтому черные металлы алмазами не обрабатываются, а при температуре свыше 800°C алмаз сгорает. Инструменты, оснащенные режущими вставками из алмазов, применяют в основном *при тонком точении цветных металлов* и сплавов, не содержащих углерод и железо. Тепло хорошо отводится вглубь алмаза, благодаря чему допускаются очень высокие скорости резания (до 1200 м/мин).

Алмазы применяются как вставки - лезвия в инструмент (см. рис. 6), либо в виде порошков различной зернистости (для кругов, шкурков, паст) и предназначены для обработки:

– вязких, пластичных металлов (алюминиевые и медные сплавы) начисто;

– пластмасс; стеклопластиков;

– полупроводниковых материалов,

а также для *выглаживания* закаленных стальных поверхностей (это обработка без снятия стружки для упрочнения поверхностного слоя).

2. Содержание отчета

1. Титульный лист.

2. Цель работы.

3. Краткие сведения из теории.

В этом разделе отчета рекомендуется следовать следующему плану:

– определение инструментального материала;

– свойства инструментального материала;

– виды инструментальных материалов (в таблице).

Виды инструментальных материалов

Название группы (4 группы)	Название вида (в каждой группе)	Пример маркировки	Химический состав (по примеру маркировки в каждой группе)

4. Практическая часть

Получить у преподавателя режущий инструмент, считать маркировку инструментального материала с державки каждого инструмента и дать его полную характеристику. Результаты занести в таблицу.

Характеристика инструментальных материалов

№ п/п	Название режущего инстру- мента	Маркировка Материала и его название	Химический состав	Свойства * 1)	Область применения (обрабатываемый материал и вид обработки) * 2)
1.					
2.					
3.					

*1) см. приложения 1, 2

*2) см. соответствующие ГОСТы.

Пример заполнения таблицы

№ п/п	Название режущего инструмента	Маркировка инструмен- тального ма- териала, его название	Химический состав инструмен- тального материала	Свойства инструмен- тального материала	Область применения (обрабатыва- емый мате- риал и вид обработки)
1.	Резец про- ходной	Оснащен ТТ20К9 (титано- тантало- вольфрамо- вый твердый сплав).	ТТ20К9: Со = 9 % (TiC + TaC) = 20 % WC = 71 %.	HRA 91 $\sigma_{\text{и}} = 1,47 \text{ ГПа}$ KCU = $4,0 \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2}$ прочность не высокая; В- высокая; $\theta \approx 1000\text{C}^\circ$; K = 3,5 скорость резания может быть высо- кой.	Относится к группе при- менения Р25 по ГОСТ 3882-72, следователь- но, обраба- тываемый материал – сталь неле- гированная, низко - и среднелеги- рованная. Вид обра- ботки – то- чение с ма- лыми пода- чами; фрезе- рование.

5. Вывод.

Дать сравнительный анализ (по свойствам и области применения) материалов для режущих инструментов, выданных на занятии.

Контрольные вопросы

1. Что такое инструментальный материал?
2. Какими свойствами должен обладать материал для инструментов?
3. Почему применяется термин «инструментальные материалы», а не «инструментальные стали»?
4. К какой группе относятся У7А, ХВГ, Р6М5; в чем их различие?
5. Какие стали относятся к новым быстрорежущим сталям?
6. Каков химический состав любого твердого сплава?
7. Что означает ВК15, Т15К6, ТТ20К9, ТН30 и какова специфика их применения?
8. В чем различие химического состава металлокерамики и керметов?
9. Какие материалы относятся к сверхтвердым? Где они применяются?
10. Какова связь между свойствами инструментальных материалов и режимом резания?
11. Что такое теплостойкость? Назовите химические элементы, влияющие на теплостойкость?
12. Что такое теплопроводность? Какие элементы влияют на теплопроводность?

Библиографический список

1. Кожевников Д. В., Гречишников В. А., Кирсанов С. В. и др. Режущий инструмент: учеб. для вузов / под ред. Кирсанова С. В. – М. : Машиностроение, 2004. – 512 с.
2. Справочник конструктора-инструментальщика/ Под ред. Гречишникова В. А. и Кирсанова С. В. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2006. – 542 с. (Библиотека конструктора).
3. Справочник технолога-машиностроителя. Т.1 и Т.2./ Под ред. Косиловой А. Г. и Мещерякова Р. К. – Машиностроение, 2002. – 495 с.
4. Машиностроение. Энциклопедия. Т. III-3. Технология изготовления деталей машин. – М. : Машиностроение, 2006. – 839 с.

Физико-механические свойства инструментальных материалов

Марка	Твердость	Предел прочности, ГПа		Ударная вязкость КСU, МДж/м ²	Тепло-стойкость θ , °C	Коэффициент относительной скорости резания
		На изгиб, $\sigma_{\text{и}}$	На сжатие, $\sigma_{\text{сж}}$			
У10А;У12А	HRC63	2,8	3,5	9,8	220	0,4
В2;Ф;9ХС;ХВГ	HRC64	3,0	3,8	9,8	230...240	0,6
Р18;Р9;Р6М5	HRC63	3,0...3,4	4,0	9,8	620	1,0
Р9К5;Р9Ф5	HRC65	2,5...2,9	4,0	9,8	620;640	2,5
ВК3	HRA89 (HRC82)	1,1	5,0	5,9	1100	3,0
ВК8	HRA88 (HRC80)	1,6	5,0	6,0	950	3,0
Т5К10	HRA88 (HRC80)	1,4	4,0	2,9	1100	4,0
Т15К6;Т30К4	HRA90 (HRC84)	1,0	4,0	2,9	1150	4,2
ТТ7К12	HRA87	1,65	-	4,0	950	3,5
ТН30;ТН40	HRA88	1,1	-	-	1000	3,5
ЦМ332	HRA92	0,37	1,47	0,98	1500	6,0
В0К60	HRA93	0,65	2,5	1,1	1300	6,0
Эльбор-Р	HV8000*	0,5	3,0	-	1800	7,0
Алмаз А	-	0,3	1,95	-	650	1,5

* Примечание: HV1076 $\equiv$ HRC70.

Марки твердых сплавов, входящих в группы Р, М и К

Изменение свойств твердых сплавов		Изменение режима резания		Марка ГОСТ 3882-74	Группа применения по ИСО	
					Основная	Под- группа
Увеличение износостой- кости ↑	Увеличение прочности при изгибе ↓	Увеличение скорости резания ↑	Увеличение подачи и глубины резания ↓	T30K4	Р	P01
				T15K6		P10
				T4K8		P20
				TT20K9		P25
				T5K10; TT10K8Б		P30
				T5K12		P40
				TT7K12		P50
				BK6-0M; BK6M	М	M05
				TT8K6		M10
				TT10K8Б		M20
				BK10-0M; BK8		M30
				TT7K12; BK10-0M		M40
				BK3; BK3M	К	K01
				BK6-0M; BK6M		K05
				TT8K6		K10
				BK6; BK4		K20
				BK8; BK4		K30
				BK8; BK15		K40

Учебное издание

Завьялова Галина Николаевна

Материалы для режущих инструментов

Методические рекомендации
к выполнению лабораторной работы по дисциплине
«Материаловедение и технология конструкционных материалов»
для студентов направлений подготовки 190300 – «Подвижной состав железных
дорог» и 190600 – «Эксплуатация транспортно-технологических машин
и комплексов» всех форм обучения

Издание второе,
дополненное и исправленное

Редактор *С. В. Пилюгина*

Подписано в печать 25.12.12. Формат 60x84/16.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 1,9.
Тираж 50 экз. Заказ 343.

Издательство УрГУПС
620034, Екатеринбург, Колмогорова, 66