

Кафедра ФВТМ и ФВТ ТПУ

# **ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ И ПРОИЗВОДСТВА ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ**

Модуль 1

Разработчик:

Гончаренко И.М., к.т.н., доцент кафедры ФВТМ

## ***Введение***

В настоящее время металлообрабатывающая промышленность использует следующие группы инструментальных материалов: углеродистые и легированные инструментальные стали; высоколегированные инструментальные (быстрорежущие) стали; твердые сплавы; оксидную, оксидно-нитридную, оксидно-карбидную керамику; сверхтвердые инструментальные материалы на основе алмазов и кубического нитрида бора.

Твердые сплавы являются основными инструментальными материалами, обеспечивающими высокопроизводительную обработку резанием. Общее количество твердосплавного инструмента в металлообрабатывающей промышленности не превышает 25-28 %, однако этим инструментом производят сьем до 65 % стружки благодаря использованию скоростей резания, в 2-3 раза превышающих уровень скоростей, принятых для инструмента из быстрорежущей стали. ***Металлокерамические*** твердые сплавы характеризуются высокой твердостью, теплостойкостью и износостойкостью, поэтому кроме инструментальной промышленности они находят применение в буровой технике и при обработке давлением.

Спеченные твердые сплавы представляют собой гетерогенные композиции, состоящие на 85-95% из твердых, весьма тугоплавких соединений (карбидов) в сочетании со значительно более легкоплавкими металлами, носящими название "цементирующих" ("связывающих"). Размеры частиц твердой карбидной и более мягкой цементирующей фаз обычно весьма малы и для большинства технических сплавов составляет 0,5-10,0 мкм.

Наиболее широкое развитие в области производства и применения получили инструментальные твердые сплавы, которые изготавливаются на основе карбида вольфрама, карбида титана, карбида тантала или сочетаний этих карбидов, иногда с карбидом ниобия, ванадия, хрома в качестве небольших добавок. "Цементирующим" металлом в сплавах служит кобальт, а иногда - никель, железо, молибден. Процентное соотношение указанных материалов выбирают в зависимости от их назначения.

Твердые сплавы как инструментальные материалы обладают рядом ценных свойств, основным из которых является высокая твердость (HRA 82-92), которая сохраняется при нагреве до температуры 700-1100 °С,

сочетающаяся с высоким сопротивлением изнашиванию при трении о металлы и о неметаллические материалы.

Сплавы не подвергаются заметной пластической деформации при низких температурах и почти не подвержены упругой деформации: величина модуля упругости у твердых сплавов выше, чем у всех известных в технике материалов и составляет 500-700 ГПа. Твердые сплавы отличаются также весьма высоким пределом прочности при сжатии – до 6 ГПа. Несколько ограничивают возможности твердосплавного инструмента относительно невысокие значения предела прочности при изгибе 0,9-2,5 ГПа и ударной вязкости  $0,6 \times 10^{-5}$  Дж/м<sup>2</sup>. Сплавы обладают относительно высокой теплопроводностью и электропроводностью, приближающейся к электропроводности железа и его сплавов. В химическом отношении твердые сплавы являются весьма устойчивыми против воздействия кислот и щелочей, некоторые сплавы заметно не окисляются на воздухе даже при 600-800°С.

Твердые сплавы изготавливают методами порошковой металлургии, позволяющими создать сплавы из компонентов, значительно различающихся по температуре плавления. Наиболее тугоплавкие компоненты не должны подвергаться плавлению в целях придания сплаву нужных свойств. Порошки карбидов смешивают с порошком связки, прессуют и спекают при 1400-1500 °С. При спекании тугоплавких порошкообразных компонентов с порошками цементирующих металлов последние плавятся, растворяя небольшую долю твердых тугоплавких соединений. В результате получается плотный материал (пористость составляет 2-5%). После спекания твердосплавное изделие имеет ту же форму, но размер уменьшается, поэтому учитывается коэффициент усадки. Практически всегда после спекания твердосплавные изделия подвергаются механической обработке. Как правило, это шлифование режущей кромки пластины, иногда дополнительное шлифование опорных поверхностей. Твердосплавный осевой инструмент вышлифовывается целиком из твердосплавных столбиков.

Твердые сплавы выпускаются в виде изделий различной формы и размеров.

Изделия для оснащения режущего инструмента изготавливаются в виде напайных и сменных многогранных (СМП) пластин.

Одним из преимуществ СМП является возможность наносить на их поверхность износостойкие покрытия из карбидов, нитридов и карбонитридов

тугоплавких металлов (главным образом, титана), а также оксида алюминия, оксинитрида алюминия (алоновые), боразона и поликристаллического алмаза.

На поверхность пластин из простых марок твердых сплавов наносится тонкий (3-10 мкм) мелкозернистый спай соединений, обладающих высокой твердостью, износостойкостью и химической устойчивостью при высоких температурах, что значительно (в 2-3 раза) повышает эксплуатационную стойкость инструмента.

Применяются два основных метода нанесения покрытий:

1. Осаждение вещества из парогазовой фазы, содержащей летучие соединения металлов (химический метод) - обозначается CVD.

2. Осаждение вещества из парогазовой фазы, содержащей пары металла, с использованием ионизации (физический метод) - обозначается PVD и наиболее широко применяется в инструментальных цехах машиностроительных предприятий.

Меняя состав и толщину покрытия, получают оптимальные по свойствам композиции для различных областей применения.

Покрытие увеличивает износостойкость инструмента. Кроме того, покрытие обеспечивает диффузионный барьер между твердым сплавом и материалом детали и защищает основу пластины от оксидирования при высоких температурах, что позволяет работать с большими скоростями резания. Благодаря этому увеличивается прочность твердого сплава и его способность противостоять ударным нагрузкам.

## **1.1. КЛАССИФИКАЦИИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ**

### ***1.1.1. Классификация твердых сплавов по составу***

В зависимости от состава и природы карбидной основы современные порошковые твердые сплавы для обработки материалов резанием подразделяются на четыре основные группы.

1. Вольфрамкобальтовые (группа ВК, на основе WC-Co);
2. Титановольфрамовые (группа ТК, на основе WC-TiC-Co);
3. Титанотанталовольфрамовые (группа ТТК, на основе WC-TiC-TaC-Co);
4. Безвольфрамовые (группа БВТС, на основе TiC и TiCN с различными связками)\*).

\*) Сплавы БВТС, выпускаемые недавно, созданы в связи дефицитностью вольфрама, тантала и кобальта.

### ***1.1.2. Классификация твердых сплавов по группам применения***

По областям применения твердые сплавы подразделяются следующим образом: для оснащения режущего инструмента; для горнобурового инструмента; для инструмента для бесстружковой обработки и конструкционных деталей.

В связи с тем, что на свойства и возможности определенной марки т.с. влияет не только ее состав, но и размер зерен карбидов, вид спекания, а также учитывая, что производством т.с. сейчас занимается более 130 разных фирм ISO разработала стандарт 513-75, в котором стандартизованы только области рационального применения марки. Каждый изготовитель т.с. должен сам отнести выпускаемую им марку к группе применения ISO.

Основными свойствами твердых сплавов, которые определяются по стандартным методикам, утвержденным Международной Организацией Стандартов (ISO) являются:

1. Плотность (метод определения - ISO 3369).
2. Твердость (метод определения - ISO 3878).
3. Предел прочности при изгибе (метод определения - ISO 3327).
4. Комплекс эксплуатационных свойств (группы применения - ISO T513).

Международный стандарт ISO T513 классифицирует сплавы, предназначенные для обработки материалов резанием, по областям применения в зависимости от обрабатываемых материалов и характера стружкообразования с учётом уровня основных свойств каждой группы применения. По (ISO) предусматривается деление всех обрабатываемых материалов

на три группы: Р (обозначаются синим цветом), М (желтым) и К (красным). В группу Р входят стали и стальное литье, при обработке которых получают *сливную стружку*. В группу М входят нержавеющие стали, титановые и жаропрочные сплавы, при обработке которых получают стружку надлома и сливную. В группу К (*kurzspanend* – стружка надлома) входят чугуны, цветные металлы и их сплавы, материалы с высокой поверхностной твердостью, при обработке которых получают *стружку надлома и элементную* (табл. 1).

В зависимости от обрабатываемого материала и типа снимаемой стружки сплавы подразделяются на три основные группы резания Р, М, К, которые в свою очередь делятся на группы применения в зависимости от видов и режимов обработки резанием. Подгруппа образуется присоединением к букве двухзначной цифры. С увеличением цифры растет прочность и снижается износостойкость.

Каждая группа применения делится на подгруппы, причем с увеличением индекса подгруппы от 01 до 40 (50), условия обработки становятся более жесткими, начиная от чистового резания и заканчивая черновым с ударами. Такое рассмотрение удобно для подбора рекомендуемых марок твердых сплавов по свойствам. Чем больше индекс подгруппы применения, тем ниже требуется износостойкость твердого сплава и допустимая скорость резания, но выше прочность (ударная вязкость) и допустимая подача и глубина резания (табл. 2).

Комплекс эксплуатационных свойств, обозначенный группой применения по ISO T513, определяется совокупностью химического состава и микроструктуры сплава, а также технологическими особенностями его изготовления.

Чем больше индекс группы применения, тем ниже износостойкость твердого сплава и допустимая скорость резания, но выше прочность (ударная вязкость) и допустимые подача и глубина резания. Таким образом, малые индексы соответствуют чистовым операциям, когда от твердых сплавов требуется повышенная износостойкость при сравнительно невысоких требованиях к прочности и вязкости, большие индексы соответствуют черновым операциям, когда твердый сплав должен быть прочным и вязким. Универсальной марки твердого сплава нет. Поэтому каждая марка сплава имеет свою предпочтительную область применения, в которой обеспечиваются максимальные работоспособность инструмента и производительность обработки. Границы групп применения марок твердых сплавов определяются ориентировочно и неоднозначно, поэтому допускается использовать одну и ту же марку в двух-трех подгруппах или даже в

разных группах применения. Часто правильность выбора должна проверяться и корректироваться на практике

Скорость резания, непрерывность обработки, жесткость системы СПИД (станок-приспособление-инструмент-деталь), способ получения заготовки (состояние обрабатываемой поверхности) позволяет определить условие обработки и сформулировать требования к основным свойствам твердого сплава. Условия обработки могут быть *хорошие, нормальные и тяжелые*.

**ХОРОШИЕ** – Высокие скорости. Непрерывное резание. Предварительно обработанные заготовки. Высокая жесткость технологической системы СПИД.

**Требования к твердому сплаву – высокая износостойкость.**

**НОРМАЛЬНЫЕ** – Умеренные скорости резания. Контурное точение. поковки и отливки. Достаточно жесткая система СПИД (станок-приспособление-инструмент-деталь)

**Требования к твердому сплаву – хорошая прочность в сочетании с достаточно высокой износостойкостью.**

**ТЯЖЕЛЫЕ** – Невысокие скорости. Прерывистое резание. Толстая корка на литье или поковках. Нежесткая система СПИД. (станок-приспособление-инструмент-деталь)

**Требования к твердому сплаву – высокая прочность.**

Кроме подгрупп применения необходимо знать тип обработки (чистовая, получистовая, легкая и черновая), который позволяет ориентироваться в величинах глубины резания ( $t$ , мм) и подачи ( $S_0$ , мм/об). Тип обработки приведен в табл. 3.

Область применения твердых сплавов можно представить сводной табл. 4. Из табл. 4 видно, что область использования марки твердого сплава будет зависеть от обрабатываемого материала, условий и типа обработки.

Знание свойств твердых сплавов помогает металлообработчикам правильно подбирать режущий инструмент.

### ***1.1.3. Маркировка твердых сплавов***

В марках первые буквы обозначают группу, к которой относится сплав (ВК – вольфрамовая, Т – титановольфрамовая, ТТ – титанотанталовольфрамовая); цифры в вольфрамовой группе – количество кобальта; первые цифры в титановольфрамовой группе – количество карбида титана, а вторые цифры – количество кобальта; первые цифры в сплавах титанотанталовольфрамовой группы – количество карбидов титана и тантала, а вторые цифры – количество кобальта. Если в марке стоит буква «М» (ВК6-М), сплавы изготовлены из мелких порошков, если буква «В» (ВК4-В) – из крупнозернистого карбида вольфрама. Если в марке присутствуют буквы «ОМ» или «ХОМ» – сплавы изготовлены из особо мелких порошков (размер зерна не превышает 0,5 мкм), а «ВК» – из особо крупного карбида вольфрама. Цвет маркировки зависит от группы резания: Р – синий; М – желтый; К – красный. К обозначению группы применения твердых сплавов с покрытием добавляют букву «С», например, К20С. Кроме стандартных марок сплавов групп ВК, ТК и ТТК существуют марки МС (Москва-«Сандвик»), изготавливаемые по технологии фирмы «Сандвик Коромант» (Швеция). Трехзначный индекс сплавов МС не содержит информации о химическом составе, а лишь отражает область его применения.



*Кратко проанализируем состав, свойства, области применения и тенденции совершенствования основных групп твердых сплавов.*

## **1.2. СВОЙСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПЛАВОВ ГРУППЫ ВК**

Вольфрамокобальтовые сплавы (группа ВК) состоят из карбидов вольфрама и связующего кобальта. Сплавы этой группы различаются содержанием в них кобальта, размерами зерен карбида вольфрама (WC) и технологией изготовления. Для оснащения режущего инструмента применяют сплавы с содержанием кобальта 3-15%. Содержание основных компонентов указывается для приготовления смеси порошков.

Из всех существующих твердых сплавов, сплавы на основе WC-Co при одинаковом содержании кобальта обладают более высокими ударной вязкостью и пределом прочности при изгибе, а также лучшей тепло- и электропроводностью. Однако по сравнению с другими твердыми сплавами стойкость материалов всей группы ВК к окислению и коррозии значительно ниже, кроме того, инструмент, выполненный из них, обладает большой склонностью к схватыванию со стружкой при обработке резанием.

В самой группе ВК при увеличении содержания кобальта предел прочности при поперечном изгибе, ударная вязкость и пластическая деформация возрастают, в то время как твердость и модуль упругости уменьшаются. С ростом содержания кобальта повышаются теплопроводность сплавов и их коэффициент термического расширения, при одновременном снижении удельного электрического сопротивления. Сплавы ВК имеют высокую плотность (вдвое выше, чем у железа). На износостойкость сплавов ВК, помимо содержания кобальта, большое влияние оказывают размеры карбидного зерна, при уменьшении которого возрастает износостойкость, но несколько снижается прочность. С увеличением зерна WC-фазы сплава твердость, модуль упругости, сопротивление абразивному изнашиванию уменьшаются, а предел прочности при изгибе растет. Наряду с содержанием кобальта и зернистостью фазы WC, большое влияние на режущие свойства сплавов на основе WC-Co оказывает содержание углерода в сплаве. Наличие в сплаве избытка углерода в виде графита снижает износостойкость сплава, а

недостаток углерода, вызывающий образование фазы  $\eta$  (двойной карбид вольфрама и кобальта), существенно повышает износостойкость, но снижает прочность. Содержание углерода в пределах двухфазной области системы W-C-Co не приводит к изменению фазового состава сплава, но отражается на составе кобальтовой фазы в связи с изменением растворимости вольфрама в кобальте. Состав кобальтовой фазы в значительной степени определяет ее свойства и тем самым свойства сплава в целом. Чем больше в сплаве содержится кобальта, тем сильнее сказывается влияние углерода.

Сплав ВК3 с минимальным содержанием кобальта, как наиболее износостойкий, но наименее прочный рекомендуется для чистовой обработки с максимально допустимой скоростью резания, но с малыми подачей и глубиной резания, а сплавы ВК8 – для операционной черновой обработки с пониженной скоростью резания и увеличенным сечением среза в условиях ударных нагрузок.

Физико-механические свойства сплавов этой группы положены в основу практических рекомендаций по рациональному применению конкретных марок сплавов.

Инструмент из сплавов ВК будет обладать повышенной работоспособностью при условии, если сплав имеет высокие прочность удержания зерна WC, сопротивляемость абразивному изнашиванию и разрушению при циклическом характере термомеханического нагружения режущей части инструмента. Поэтому вольфрамокобальтовые сплавы рекомендуются преимущественно для обработки материалов, дающих суставчатую стружку или стружку надлома: чугунов, цветных металлов, вольфрамовых, молибденовых, никелевых, титановых сплавов и сплавов повышенной хрупкости, стеклопластиков, фарфора, дерева и т.д. Инструмент из сплавов ВК не рекомендуется для обработки заготовок из углеродистых и легированных сталей, так как зерна карбида вольфрама интенсивно выкрашиваются и изнашиваются (адгезионно-усталостное, диффузионное изнашивание).

### ***1.3. СВОЙСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПЛАВОВ ГРУППЫ ТК***

Сплавы второй группы (на основе WC-TiC-Co) состоят из зерен карбида вольфрама, сложных титановольфрамовых карбидов (Ti,W)C и связующей кобальтовой фазы, представляющей собой твердый раствор вольфрама и углерода в кобальте. Большая твердость сплавов ТК объясняется большой твердостью зерен (Ti,W)C, чем твердость зерен WC. Поэтому с ростом содержания зерен (Ti,W)C твердость сплава увеличивается, снижаются теплопроводность и коэффициент линейного расширения. Однако одновременно возрастает хрупкость сплава из-за повышенной хрупкости зерен (Ti,W)C. По сравнению со сплавами на основе WC-Co они обладают большей стойкостью к окислению, жаропрочностью и в то же время меньшими теплопроводностью и электропроводностью, а также модулем упругости. Также как у сплавов на основе WC-Co, предел прочности при изгибе и сжатии и ударная вязкость увеличиваются с ростом содержания кобальта. У сплавов с одинаковым содержанием кобальта и размером зерен карбидных фаз пределы прочности при изгибе и сжатии, ударная вязкость, пластическая деформация и модуль упругости уменьшаются при увеличении содержания карбида титана. Особенность строения и физико-механические свойства сплавов ТК определяет и предпочтительную область их применения – обработку конструкционных сталей, дающих сливную стружку. Сплавы группы ТК имеют карбидные зерна (Ti,W)C, менее склонные к диффузионному растворению в железе при повышенных температурах, а температура схватывания со сталью у сплавов этого типа выше, чем у сплавов на основе WC-Co. Поэтому инструмент из сплавов группы ТК меньше изнашивается при резании конструкционных сталей на повышенных скоростях резания. Вследствие повышенной хрупкости сплавы ТК не производят с мелким и особо мелким зерном. По этой же причине инструмент из сплавов ТК не рекомендуется для обработки высокопрочных материалов, сложнелегированных сталей и сплавов, так как весьма вероятно микро- и макроразрушение контактных площадок инструмента. Худшая смачиваемость зерен (Ti,W)C кобальтом приводит к снижению прочности удержания зерна в сплаве, поэтому инструмент из сплава ТК нельзя применять для обработки чугунов.

#### ***1.4. СВОЙСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПЛАВОВ ГРУППЫ ТТК***

Промышленные танталосодержащие твердые сплавы третьей группы (на основе WC-TiC-TaC-Co) состоят из трех основных фаз: зерен карбида вольфрама (WC), сложных зерен твердого раствора тройных титано-танталовольфрамовых карбидов (Ti, Ta, W)C и связующей кобальтовой фазы.

Сплавы ТТК имеют мелкозернистые структуры, а их хрупкость значительно ниже хрупкости сплавов ТК. Зерна (Ti, Ta, W)C лучше смачиваются кобальтом, поэтому прочность удержания карбидных зерен в сплавах ТТК выше прочности удержания зерен (Ti,W)C в сплавах ТК. Введение в сплавы добавок карбида тантала улучшает их физико-механические и эксплуатационные свойства, что выражается в увеличении прочности при изгибе при температуре 20 °С и 600-800 °С, увеличении общей деформации и работы деформации при высоких температурах. Сплавы, содержащие карбид тантала, имеют более высокую твердость, термостойкость и стойкость к окислению на воздухе, обладают большим пределом прочности при циклическом характере термомеханического нагружения, чем сплавы ВК и ТК. Поэтому инструмент, оснащенный режущими пластинами из ТТК, особенно эффективен при фрезеровании и других процессах прерывистого резания.

Эксплуатационная прочность сплавов ТТК увеличивается не только по мере роста содержания кобальта, но и при повышении содержания связанного углерода. В частности, наилучшим сочетанием свойств обладают сплавы ТТК с содержанием связанного углерода, равным 0,9-0,95 стехиометрического содержания, принятого за единицу. Поэтому инструмент из сплавов ТТК рекомендуется также для операции тяжелой черновой обработки с большими сечениями срезаемого слоя, колебаниями припуска. По своим эксплуатационным свойствам эти сплавы относятся к группе применения Р25.

#### ***1.4. СВОЙСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕЗВОЛЬФРАМОВЫХ СПЛАВОВ***

В связи с дефицитностью вольфрама и кобальта разработаны и выпускаются безвольфрамовые твердые сплавы (БВТС) на основе карбидов и карбонитридов титана с никелемолибденовой связкой.

Особенности структуры и свойств БВТС рассмотрим на примере наиболее применяемых марок БВТС – ТН20, КНТ16.

Сплав ТН20 состоит из зерен сложного титанолибденового карбида и связующей фазы, представляющей собой твердый раствор титана, молибдена и углерода в никеле. Карбидные зерна имеют кольцевую структуру, у которой сердцевина состоит из зерен карбида титана, а периферия – из зерен титанолибденового карбида. Сплав КНТ16 по строению аналогичен сплаву ТН20, но его основу составляют зерна карбонитрида титана.

БВТС не уступают сплавам ТК по твердости, имеют высокую окалиностойкость. Повышенная хрупкость, недостаточная прочность, низкая теплопроводность ограничивают широкое применение инструмента, оснащенного пластинами из БВТС.

БВТС рекомендуется использовать для точения, торцового фрезерования сталей и чугунов.

### ***РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА***

1. **Твердые сплавы:** справочник / Баженов М.Ф., Байчман С.Г., Карпачев Д.Г.; Под ред. Баженова М.Ф. – М.: Металлургия, 1978.– 184 с.

2. **Твердые сплавы:** пер. с нем. / Киффер Р., Шварцкопф П. – М.: Металлургиздат, 1957. – 664 с.

3. **Чапорова И.Н., Чернявский К.С.** Структура спеченных твердых сплавов / М.: Металлургия, 1975. – 247 с.

4. **Верещака А.С.** Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. – М.: Машиностроение, 1993. – 336 с.

5. **Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент:** Справочник / Самойлов В.С., Эйхманс Э.Ф., Фальковский В.А. и др. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с. – (Б-ка инструментальщика).

6. **Гуляев А.П.** Металловедение. Учебник для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1986. – 544 с.

7. **Материаловедение:** Учебник для вузов / Арзамасов Б.Н., Макарова В.И., Мухин Г.Г. и др., 3-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 648 с.

## (Демонстрационный материал)

### Определение:

Твердый сплав - твердая монолитная масса, изготовленная путем прессования и спекания смеси порошков одного или более металлических карбидов, типа карбида вольфрама с небольшим количеством такого металла, как кобальт, служащего в качестве связующего вещества.

### Общая характеристика

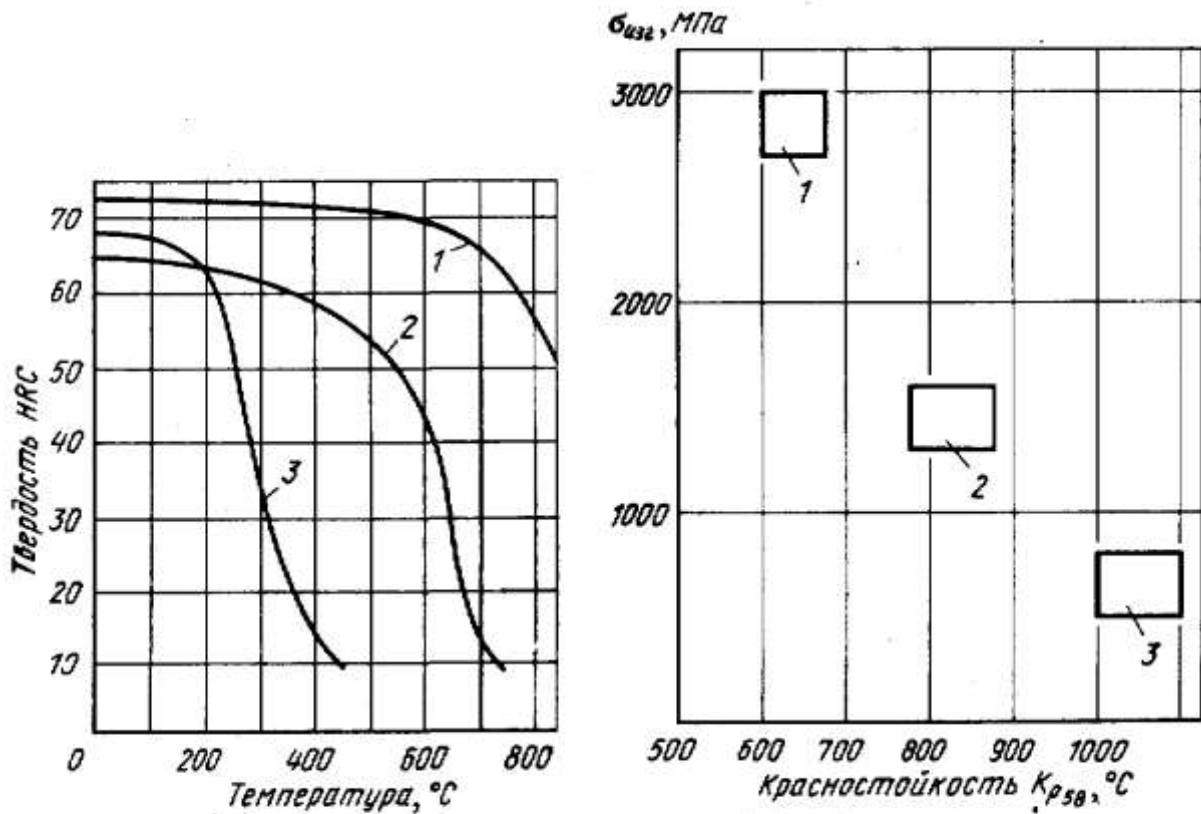


Рис. 1 . Твердость инструментальных материалов в нагретом состоянии:  
1 — твердый сплав; 2 — быстрорежущая сталь; 3 — углеродистая сталь

Рис. 2 . Прочность и красностойкость инструментальных материалов:  
1 — быстрорежущая сталь; 2 — твердый сплав; 3 — минералокерамика

## *Классификация твердых сплавов по группам применения*

Табл. 1.

### Классификация обрабатываемых материалов по группам резания

Группа по ISO	Обрабатываемый материал	Пример материала
<b>P</b>	Стали: Углеродистые	08кп, 10, А12, Ст3, Ст45, А40Г, 60, У7А
	легированные	20Х, 12ХН13А, 38Х2Н2МА, ШХ15ГС
	высоколегированные и инструментальные	7ХФ, 9ХС, ХВГ, Р6М5
	Стальное литье	20Л, У8Л, 35ХГСЛ, 5Х14НДЛ, Г13
<b>M</b>	Нержавеющие стали	12Х13, 12Х18Н10Т, 11Х11Н2В2МФ
	Титановые сплавы	BT1-00, BT5, BT14
	Жаропрочные	ХН32Т, ХН67ВТМЮЛ
<b>K</b>	Чугуны	СЧ10, СЧ45, ВЧ35, ВЧ100, КЧ37-12, КЧ50-5
	Цветные металлы	АМГ2, Д16, АЛ3, ЛС63-1, Л96, ЛО70-1, М00к
	Материалы с высокой поверхностной твердостью	Закаленная сталь HRC 45-60, ЧХ16

## Подгруппы применения твердых сплавов

Обозначение	Обрабатываемый материал. Тип снимаемой стружки	Вид обработки. Условия применения
<b>Группа резания Р</b>		
<b>P01</b>	Сталь. Сливная стружка	Чистовое точение, растачивание, развертывание (высокие точность обработки и качество поверхности изделия)
<b>P10</b>	Сталь. Сливная стружка	Точение, в том числе по копиру, нарезание резьбы, фрезерование, рассверливание, растачивание
<b>P20</b>	Сталь, ковкий чугун и цветные металлы. Сливная стружка	Точение, в том числе по копиру, фрезерование, чистовое строгание
<b>P25</b>	Сталь нелегированная, низко и среднелегированная	Фрезерование, в том числе глубоких пазов, другие виды обработки, при которых у сплава должно быть высокое сопротивление тепловым и механическим нагрузкам
<b>P30</b>	Сталь, ковкий чугун. Сливная стружка	Черновое точение, фрезерование, строгание. Работа в неблагоприятных условиях*
<b>P40</b>	Сталь с включениями песка и раковинами. Сливная стружка и стружка надлома	Черновое точение, строгание. работа в особо неблагоприятных условиях*
<b>P50</b>	Сталь со средней или низкой прочностью, с включениями песка и раковинами. Сливная стружка и стружка надлома	Точение, строгание, долбление при особо высоких требованиях к прочности твердого сплава в связи с неблагоприятными условиями резания*. Для инструмента сложной формы



## Подгруппы применения твердых сплавов

Обозначение	Обрабатываемый материал. Тип снимаемой стружки	Вид обработки. Условия применения
<b>Группа резания М</b>		
<b>М10</b>	Сталь, в том числе аустенитная, жаропрочная, труднообрабатываемая, сплавы, серый, ковкий и легированный чугуны. Сливная стружка и стружка надлома	Точение, фрезерование
<b>М20</b>	Сталь, в том числе жаропрочная труднообрабатываемая, сплавы, серый и ковкий чугуны. Сливная стружка и стружка надлома	Точение, фрезерование
<b>М30</b>	Аустенитная сталь, жаропрочные труднообрабатываемые стали и сплавы, серый и ковкий чугуны. Сливная стружка и стружка надлома	Точение, фрезерование, строгание, работа в неблагоприятных условиях
<b>М40</b>	Низкоуглеродистая сталь с низкой прочностью, автоматная сталь и другие металлы и сплавы. Сливная стружка и стружка надлома	Точение, фасонное точение, отрезка преимущественно на станках-автоматах

Табл. 2.

## Подгруппы применения твердых сплавов

Обозначение	Обрабатываемый материал. Тип снимаемой стружки	Вид обработки. Условия применения
<b>Группа резания К</b>		
<b>К01</b>	Серый чугун, преимущественно высокой твердости, алюминиевые сплавы с большим содержанием кремния, закаленная сталь, абразивные пластмассы, керамика, стекло. Стружка надлома	Чистовое точение, растачивание, фрезерование, шабрение
<b>К05</b>	Легированные чугуны, закаленные стали, коррозионно-стойкие, высокопрочные и жаропрочные стали и сплавы. Стружка надлома	Чистовое и получистовое точение, растачивание, развертывание, нарезание резьбы
<b>К10</b>	серый и ковкий чугуны преимущественно повышенной твердости, закаленная сталь, алюминиевые и медные сплавы, пластмассы, стекло, керамика. Стружка надлома	Точение, растачивание, фрезерование, сверление, шабрение
<b>К20</b>	Серый чугун, цветные металлы, абразивная прессованная древесина, пластмассы. Стружка надлома	Точение, фрезерование, строгание, сверление, растачивание
<b>К30</b>	Серый чугун низкой твердости и прочности, сталь низкой прочности, древесина, цветные металлы, пластмасса, плотная древесина. Стружка надлома	Точение, фрезерование, строгание, сверление, работа в неблагоприятных условиях*. Допустимы большие передние углы заточки инструмента
<b>К40</b>	Цветные металлы, древесина, пластмассы. Стружка надлома	Точение, фрезерование, строгание. Допустимы большие передние углы заточки инструмента

\* Работа с переменной глубиной резания, с прерывистой подачей, с ударами, вибрациями, с наличием литейной корки и абразивных включений в обрабатываемом материале

Табл. 3.

Тип обработки

Параметры режима резания	Тип обработки			
	Чистовая	Получистовая	Легкая черновая	Черновая
Глубина $t$ , мм	0,25-2,0	0,5-3,0	2,0-6,0	5,0-10,0
Подача $S_0$ , мм/об	0,05-0,15	0,1-0,3	0,2-0,5	0,4-1,8

Табл. 4.

Определение области применения твердого сплава

Условия обработки	ISO	Тип обработки			
		Чистовая	Получистовая	Легкая черновая	Черновая
Хорошие	<b>P</b>	P01-P10	P10-P25	P25-P30	P30-P35
	<b>M</b>	M10-M15	M15-M20	M20-M25	M25-M30
	<b>K</b>	K01-K05	K05-K10	K10-K15	K15-K20
Нормальные	<b>P</b>	P10-P25	P25-P30	P30-P40	P40-P50
	<b>M</b>	M15-M20	M20-M25	M25-M30	M30-M35
	<b>K</b>	K05-K10	K10-K15	K15-K20	K20-K25
Тяжелые	<b>P</b>	P30-P35	P35-P40	P40-P45	P45-P50
	<b>M</b>	M20-M25	M25-M30	M30-M35	M35-M40
	<b>K</b>	K10-K15	K15-K20	K20-K25	K25-K30

## 1.5. Состав свойства и области применения БВТС

Сплав, ТУ 48-19-233-8	Состав		$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	HRA	$\sigma_{д}$ , ГПа	Область применения
	Твердая фаза	Связующая фаза				
ТН20	TiC	Ni—Mo	5,5	91	1,05	P10—P20, K10—K20
ТН50	TiC	Ni—Mo	6,4	86,5	1,25	P20—P30, K20—K30
КНТ16	TiCN	Ni—Mo	5,8	89,5	1,20	P10—P20, K10—K20
ЛЦК20	TiCN	Ni—Mo	5,8	88,0	1,27	P15—P30, K15—K30
ТВ4	TiCN	Ni—Mo—W	6,6	89,0	1,30	P20—P30