# Тема 2
# ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

## Лекция 1. Требования, предъявляемые к инструментальным материалам

Лезвие инструмента поддается интенсивному воздействию значительных силовых нагрузок и температур, а также химическому взаимодействию с обрабатываемым материалом. С учетом необходимости сопротивления контактных участков режущего инструмента изнашиванию, микро- и макроразрушению к свойствам инструментальных материалов предъявляется ряд специальных требований. Основные из них следующие.

1. ***Высокая твердость.*** Твердость инструментального материала должна быть выше твердости обрабатываемого в 1,4–1,7 раза для внедрения лезвия в заготовку.

2. ***Высокая прочность.*** Если высокая твердость не обеспечивается необходимой прочностью, обрабатываемый материал становится хрупким, и это приводит к выкрашиванию режущих кромок инструмента или его поломке. Кроме того, инструментальный материал должен иметь достаточный уровень ударной вязкости и сопротивляться появлению трещин (т. е. иметь высокую трещиностойкость).

3. ***Высокая теплостойкость***, т. е. способность материала сохранять высокую твердость и прочность при температурах резания. Для быстрорежущих сталей теплостойкость еще называют красностойкостью (т. е. сохранение твердости при нагревании до температур начала свечения стали). Повышение теплостойкости инструментального материала позволяет ему работать с большими скоростями резания (табл. 2.1).

4. ***Высокая износостойкость*** при повышенной температуре, т. е. хорошая сопротивляемость истиранию обрабатываемым материалом.

5. ***Низкая физико-химическая активность инструментального материала по отношению к обрабатываемому***.

6. ***Высокая технологичность*** – свойство, которое обеспечивает оптимальные условия изготовления инструментов. Например, для инструментальных сталей такими условиями являются: хорошая обрабатываемость резанием и давлением; благоприятные особенности термической обработки (малая чувствительность к перегреву и обезуглероживанию, хорошие закаливаемость и прокаливаемость, минимальные деформации и

образование трещин при закалке и т. п.); хорошая шлифуемость после термической обработки.

Таблица 2.1

Связь между теплостойкостью и допустимой скоростью резания для различных инструментальных материалов

| Материал | Критическая температура теплостойкости, °С | Допустимая скорость при резании стали 45, м/мин |
|---|---|---|
| Углеродистая инструментальная сталь | 200–250 | 10–15 |
| Легированная инструментальная сталь | 350–510 | 15–30 |
| Быстрорежущая сталь | 600–650 | 40–60 |
| Твердые сплавы: | | |
| группа ВК, | 900–930 | 120–200 |
| группа ТК и ТТК, | 1000–1030 | 150–250 |
| титановые (безвольфрамовые), | 800–830 | 100–300 |
| с покрытием | 1000–1100 | 200–300 |
| Режущая керамика | 1200–1230 | 400–600 |

7. Инструментальный материал должен быть ***экономичным***, т. е. стоимость инструмента, из него изготовленного, которая приходится на единицу продукции, должна быть минимальной.

## Лекция 2. Инструментальные стали

Для режущих инструментов в основном применяют быстрорежущие стали, а также в небольших количествах заэвтектоидные углеродистые стали с содержанием углерода 0,7–1,3 % и суммарным содержанием легирующих элементов (кремния, ванадия, марганца, хрома и вольфрама) от 1,0 до 3,0 %.

Ранее других материалов для изготовления режущих инструментов начали применять углеродистые инструментальные стали марок У7, У7А … У13, У13А. Кроме железа и углерода эти стали содержат 0,2–0,4 % марганца. Инструменты из углеродистых сталей| имеют достаточную твердость при комнатной температуре, но теплостойкость их невелика, так как при сравнительно невысоких температурах (200–250 °С) твердость этих сталей резко уменьшается.

Легированные инструментальные стали по своему химическому составу отличаются от углеродистых повышенным содержанием кремния, марганца или наличием одного либо нескольких легирующих элементов: хрома, никеля, вольфрама, ванадия, кобальта, молибдена. Для режущих инструментов используются низколегированные стали марок 9ХФ, 11ХФ, 13Х, В2Ф, ХВ4, ХВСГ, ХВГ, 9ХС и др. Эти стали обладают более высокими технологическими свойствами – лучшей закаливаемостью и прокаливаемостью, меньшей склонностью к короблению, но теплостойкость их не превышает 350–400 °С, и поэтому они, как и углеродистые инструментальные стали, используются для изготовления ручных, дереворежущих инструментов (напильников, пил, ножовок) или машинных инструментов, предназначенных для обработки с низкими скоростями резания (мелкие сверла, метчики, плашки, протяжки, развертки).

Следует отметить, что за последние 15–20 лет существенных изменений в этих сталях не произошло, однако наблюдается стойкая тенденция снижения их доли в общем объеме используемых инструментальных материалов.

В настоящее время быстрорежущие стали являются основным инструментальным материалом, несмотря на то, что инструменты из твердого сплава, керамики и СТМ обеспечивают более высокую производительность обработки.

Широкое использование быстрорежущих сталей для изготовления сложнопрофильных инструментов определяется сочетанием высоких значений твердости (до HRC 68) и теплостойкости (550–650 °С) при высоком уровне хрупкой прочности и вязкости, значительно превышающих соответствующие значения для твердых сплавов. Эти стали получили наиболее широкое распространение при изготовлении сложнопрофильных режущих инструментов и в тех случаях, когда применение твердосплавного инструмента ограничивается его малой прочностью. Кроме того, быстрорежущие стали обладают достаточно высокой технологичностью, так как хорошо обрабатываются давлением и резанием в отожженном состоянии.

В обозначении быстрорежущей стали буква Р означает, что сталь быстрорежущая, а следующая за буквой цифра – содержание средней массовой доли вольфрама в процентах. Следующие буквы и цифры характеризуют процентное содержимое других легирующих элементов. Современные быстрорежущие стали можно разделить на три группы: нормальной, повышенной и высокой теплостойкости.

К сталям нормальной теплостойкости относятся вольфрамовая Р18 и ее заменитель с меньшим содержимым дефицитного вольфрама – сталь Р6М5 (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Химический состав быстрорежущих сталей

| Марка стали | Массовая доля, % | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | C | Cr | W | V | Co | Mo | N |
| Стали нормальной теплостойкости | | | | | | | |
| Р18 | 0,73–0,83 | 3,8–4,40 | 17,–18,5 | 1,0–1,40 | н.б. 0,5 | н.б. 1,0 | – |
| Р6М5 | 0,82–0,9 | 3,80–4,4 | 5,50–6,5 | 1,70–2,1 | н.б. 0,5 | 4,80–5,3 | – |
| Стали повышенной теплостойкости | | | | | | | |
| 11Р3АМ3Ф2 | 1,02–1,12 | 3,80–4,3 | 2,50–3,3 | 2,30–2,7 | н.б. 0,5 | 2,50–3,0 | 0,05–0,1 |
| Р6М5Ф3 | 0,95–1,05 | 3,80–4,3 | 5,70–6,7 | 2,30–2,7 | н.б. 0,5 | 4,80–5,3 | – |
| Р12Ф3 | 0,95–1,05 | 3,80–4,3 | 12,0–13, | 2,50–3,0 | н.б. 0,5 | н.б. 0,5 | – |
| Р18К5Ф2 | 0,85–0,95 | 3,80–4,4 | 17,0–18,5 | 1,80–2,2 | 4,70–5,2 | н.б. 1,0 | – |
| Р9К5 | 0,90–1,0 | 3,80–4,4 | 9,0–10,0 | 2,30–2,7 | 5,0–6,0 | н.б. 1,0 | – |
| Р6М5К5 | 0,94–0,92 | 3,80–4,3 | 5,70–6,7 | 1,70–2,1 | 4,70–5,2 | 4,80–5,3 | – |
| Р9М4К8 | 1,0–1,10 | 3,00–3,6 | 8,50–9,5 | 2,30–2,7 | 7,50–8,5 | 3,80–4,3 | – |
| Р2АМ9К5 | 1,0–1,10 | 3,80–4,4 | 1,50–2,0 | 1,70–2,1 | 4,70–5,2 | 8,00–9,0 | 0,05–1,1 |
| Стали высокой теплостойкости | | | | | | | |
| В11М7К23 | 0,10 | – | 11,00 | 0,50 | 23,00 | 7,00 | – |
| В14М7К25 | 0,10 | – | 14,00 | 0,50 | 25,00 | 7,00 | – |
| 3В20К20Х4Ф | 0,25 | 4,00 | 20,00 | 1,00 | 20,00 | – | – |

Эти стали имеют твердость в закаленном состоянии HRC 63–64, предел прочности на изгиб 2900–3400 МПа, ударную вязкость 2,7–4,8 Дж/м$^2$ и теплостойкость 600–620 °С.

Объем производства стали Р6М5 достигает 80 % от всего объема выпуска быстрорежущих сталей. Она используется при обработке конструкционных сталей, чугунов, цветных металлов, пластмасс.

Стали повышенной ***теплостойкости*** характеризуются повышенным содержанием углерода, ванадия, молибдена и кобальта.

Среди ***ванадиевых сталей*** наибольшее применение получила марка Р6М5Ф3. Однако, наряду с высокой износостойкостью ванадиевые стали обладают плохой шлифуемостью из-за присутствия карбидов ванадия (VC), так как твердость последних не уступает твердости зерен электрокорундового шлифовального круга ($Al_2O_3$). Обрабатываемость при шлифовании – «шлифуемость» – это важнейшее технологическое свойство,

которое определяет не только условия изготовления инструментов, но и их эксплуатацию (переточки). По шлифуемости быстрорежущие стали можно разделить на 4 группы.

***Группа* 1.** Содержание ванадия до 1,4 % и относительная шлифуемость 0,9–1,0 (за единицу принята «обрабатываемость при шлифовании» стали Р18, обладающая наилучшей шлифуемостью).

***Группа* 2.** Содержание ванадия 1,7–2,2 %, относительная шлифуемость 0,5–0,95, в эту группу, в частности, входят стали Р6М5, Р6М5К5, Р2АМ9К5 и др.

***Группа* 3.** Содержание ванадия 2,3–3,3 %, относительная шлифуемость 0,3–0,5 (11Р3АМ3Ф2, Р6М5Ф3, Р12Ф3, Р9М4К8 и др.)

***Группа* 4.** Содержание ванадия более 4 %, относительная шлифуемость 0,2–0,3 (Р12Ф4К5 и др.).

Быстрорежущие стали, полученные методом порошковой металлургии, независимо от содержания ванадия относятся к 1-й и 2-й группам, т. е. обладают хорошей шлифуемостью.

Стали с пониженной шлифуемостью склонны к прижогам (изменению структуры приповерхностных слоев стали после шлифования или заточки), появлению вторичной закалки или зон вторичного отпуска с пониженной твердостью. Следствием прижогов может быть значительное снижение стойкости инструмента.

Однако, проблема «шлифуемости» высокованадиевых быстрорежущих сталей успешно решается, если при заточке и доводке режущих инструментов применяются абразивные круги с зернами из СТМ на основе сверхтвердого нитрида бора.

Ванадиевые быстрорежущие стали находят применение для инструментов несложных форм при чистовых и получистовых условиях резания для обработки материалов, обладающих повышенными абразивными свойствами.

Среди ***кобальтовых сталей*** наибольшее применение нашли марки Р6М5К5, Р9М4К8, Р18К5Ф2, Р9К5, Р2АМ9К5 и др. Введение кобальта в состав быстрорежущей стали наиболее значительно повышает ее твердость (до HRC 66–68) и теплостойкость (до 640–650 °С). Кроме того, повышается теплопроводность стали, так как кобальт является единственным легирующим элементом, порождающим такой эффект. Это дает возможность использовать данные стали для обработки труднообрабатываемых жаропрочных и нержавеющих сталей и сплавов, а также конструкционных

сталей повышенной прочности. Период стойкости инструментов из таких сталей в 3–5 раз выше, чем из сталей Р18, Р6М5.

***Стали высокой теплостойкости*** характеризуются пониженным содержанием углерода, но весьма большим количеством легирующих элементов – вольфрама, кобальта и молибдена. Основные марки В11М7К23, В14М7К25, 3В20К20Х4Ф имеют твердость HRC 69…70 и теплостойкость 700…720 °С. Наиболее рациональная область их использования – обработка труднообрабатываемых материалов и титановых сплавов. В последнем случае период стойкости инструментов в 60 раз выше, чем из стали Р18, и в 8–15 раз выше, чем из твердого сплава.

Значительными недостатками этих сталей является их низкая прочность на изгиб (не выше 2400 МПа) и низкая обрабатываемость резанием в отожженном состоянии при изготовлении инструмента из-за большой твердости (HRC 38–40).

В связи со все более возрастающей дефицитностью вольфрама и молибдена – основных легирующих элементов, используемых при производстве быстрорежущих сталей, все большее применение находят э***кономнолегированные стали***. Среди них наибольшее применение получила сталь 11Р3АМ3Ф2, которая используется при производстве инструмента, так как обладает достаточно высокими показателями по твердости (HRC 63–64), прочности на изгиб ($R_{bm}$=3400 МПа) и теплостойкости (до 620 °С). Сталь 11Р3АМ3Ф2 технологична в металлургическом производстве, однако, из-за худшей шлифуемости ее применение ограничено инструментами простой формы, не требующими больших объемов абразивной обработки (пилы по металлу, резцы и т. п.).

***Порошковые быстрорежущие стали.*** Наиболее эффективные возможности повышения качества быстрорежущих сталей, их эксплуатационных свойств и создания новых режущих материалов появились при использовании порошковой металлургии.

Порошковая быстрорежущая сталь характеризуется однородной мелкозернистой структурой, равномерным распределением карбидной фазы, пониженной деформируемостью в процессе термической обработки, хорошей шлифуемостью, более высокими технологическими и механическими свойствами, чем стали аналогичных марок, полученных по традиционной технологии.

Технологическая схема получения порошковых быстрорежущих сталей следующая: газовое распыление в порошок жидкой струи быстрорежущей стали, засыпка порошка в цилиндрический контейнер и дегаза-

ция, нагрев и ковка (или прокатка) контейнеров в прутки, окончательная обдирка резцом остатков контейнера с поверхности прутков. Основным преимуществом порошковой технологии является резкое снижение размеров карбидов, образующихся при кристаллизации слитка в изложнице. Это объясняется тем, что порошинка стали размером несколько микрометров, полученная газовым распылением, является микрослитком, в котором карбиды не могут быть крупнее ее самой.

Основные направления разработки новых составов порошковой быстрорежущей стали сводятся к введению в ее состав до 7 % ванадия и значительного, в связи с этим, повышения износостойкости без ухудшения шлифуемости, и к введению углерода с «пересыщением» до 1,7 %, позволяющему получить значительное количество карбидов ванадия и высокую вторичную твердость после закалки с отпуском. В обозначении марки стали, полученной методом порошковой металлургии, добавляют букву П или МП. В Украине выпускают ряд марок таких сталей: Р7М2Ф6-МП, Р6М5Ф3-МП, Р9М2Ф6К5-МП, Р12МФ5-МП и др. (ГОСТ 28369-89).

Технология порошковой металлургии также используется для получения карбидостали, которая по своим свойствам может быть классифицирована как промежуточная между быстрорежущей сталью и твердыми сплавами.

***Карбидосталь*** отличается от обычной быстрорежущей стали высоким содержанием карбидной фазы (в основном карбидов титана), что достигается смешиванием порошка быстрорежущей стали и мелкодисперсных частиц карбида титана. Содержание TiC в карбидостали составляет до 20 %. Пластическим деформированием спрессованного порошка получают заготовки простой формы. В отожженном состоянии твердость карбидостали составляет HRC 40–44, а после закалки и отпуска HRC 68–70.

При использовании для режущего инструмента карбидосталь обеспечивает повышение стойкости в 1,5–2 раза по сравнению с аналогичными марками обычной технологии производства. В ряде случаев карбидосталь является полноценным заменителем твердых сплавов, особенно при изготовлении деформирующих инструментов (деформирующие протяжки).

## Лекция 3. Твердые сплавы

***Твердые сплавы*** для оснащения режущего инструмента получают методами порошковой металлургии в виде пластин или тел разной формы. Основными компонентами таких сплавов являются карбиды вольфрама (WC), титана (TiC), тантала (TaC) и ниобия (NbC); нитриды и карбонитриды титана (TiN, TiCN), мельчайшие твердые частицы которых соединены с помощью сравнительно мягких и менее тугоплавких связок, в состав которых входят кобальт или никель в смеси с молибденом. Как вредная примесь – может находиться свободный углерод.

Твердые сплавы являются основным современным инструментальным материалом, обеспечивающим высокопродуктивную обработку материалов резанием. Сейчас общее количество твердосплавного инструмента, применяемого в механообрабатывающем производстве, составляет до 30 %, причем этими инструментами снимается до 65 % стружки, так как скорость резания, применяемая при обработке твердосплавными инструментами, в 2–5 раз выше, чем у быстрорежущих инструментов.

Твердые сплавы по составу можно разделить на четыре группы: вольфрамо-кобальтовые (WC–Co), титано-вольфрамо-кобальтовые (WC–TiC–Co), титано-тантало-вольфрамо-кобальтовые (WC–TiC–TaC–Co), безвольфрамовые или титановые (на основе TiC, TiCN с различными связками).

Твердые сплавы как инструментальные материалы обладают рядом ценных свойств, основными из которых является высокая твердость (HRA 82–92), сохраняемая до критической температуры теплостойкости 700–1100°C, большое значение модуля упругости (500–700 ГПа) и предела прочности при сжатии (до 6000 МПа). Относительно невысокая прочность на изгиб (1000–2500 МПа) и ударная вязкость не являются лимитирующими, т. к. твердые сплавы способны достаточно эффективно воспринимать нагрузки, возникающие при резании.

***Вольфрамо-кобальтовые сплавы*** (группа ВК) в структуре являют собой свободные зерна карбида вольфрама (WC), которые находятся в связке – твердом растворе вольфрама и углерода в кобальте (Co). Сплавы этой группы различаются содержанием в них кобальта, размерами зерен карбида вольфрама и технологией изготовления. Для оснащения режущего инструмента применяют сплавы с содержанием кобальта 3–10 %.

Традиционно применяется система обозначений марок всех типов сплавов по процентному составу основных компонентов (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Состав и характеристики основных физико-механических свойств сплавов на основе WC–Co (группа ВК) по ГОСТ 3882–74 (ISO 513–75)

| Сплав | Состав сплава, % | | | Характеристики физико-механических свойств | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | WC | TaC | Co | Предел прочности на изгиб $R_{bm}$, МПа, не менее | Плотность $\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м$^3$ | HRA, не менее |
| ВК3 | 97 | – | 3 | 1176 | 15,0–15,3 | 89,5 |
| ВК3-М | 97 | – | 3 | 1186 | 15,0–15,3 | 91,0 |
| ВК4 | 96 | – | 4 | 1519 | 14,9–15,2 | 89,5 |
| ВК6 | 94 | – | 6 | 1519 | 14,6–15,0 | 88,5 |
| ВК6-М | 94 | – | 6 | 1421 | 14,8–15,1 | 90,0 |
| ВК6-ОМ | 92 | 2 | 6 | 1274 | 14,7–15,0 | 90,5 |
| ВК8 | 92 | – | 8 | 1666 | 14,4–14,8 | 87,5 |
| ВК10 | 90 | – | 10 | 1764 | 14,2–14,6 | 87,0 |
| ВК10-М | 90 | – | 10 | 1617 | 14,3–14,6 | 88,0 |
| ВК10-ОМ | 88 | 2 | 10 | 1470 | 14,3–14,6 | 88,5 |
| ВК10–ХОМ | 88 | 2 (CrC) | 10 | 1500–1700 | 14,3–14,6 | 89,0 |

В условном обозначении однокарбидных сплавов цифра показывает процентное содержание кобальтовой связки. Например, обозначение ВК6 показывает, что твердый сплав имеет 6 % кобальта, а остальные 94 % – карбиды вольфрама. При увеличении в сплавах содержания кобальта предел прочности, ударная вязкость и пластичность возрастают, в то время как твердость и модуль упругости уменьшаются. С ростом содержания кобальта повышаются теплопроводность сплавов и их коэффициент термического расширения.

Из всех существующих твердых сплавов сплавы группы ВК при одинаковом содержании кобальта обладают более высокими ударной вязкостью и пределом прочности на изгиб, а также лучшей тепло- и электропроводностью. Однако стойкость этих сплавов к окислению и коррозии значительно ниже, кроме того, они обладают большей склонностью к схватыванию со стружкой при обработке резанием.

При одинаковом содержании кобальта физико-механические и режущие свойства сплавов в значительной мере определяются средним размером зерен карбида вольфрама (WC). Разработанные технологические приемы позволяют получать твердые сплавы, в которых средний

размер зерен карбидной составляющей может изменяться от долей микрометра до 10–15 мкм.

Сплавы с размерами карбидов от 3 до 5 мкм относятся к крупнозернистым и обозначаются буквой В (например, ВК8-В), а с размерами карбидов от 0,5 до 1,5 мкм – буквой М (мелкозернистые – ВК6-М). Когда же 70 % зерен имеют размеры менее 1,0 мкм – ОМ (особо мелкозернистые – ВК6-ОМ). Сплавы с меньшим размером карбидной фазы более износостойкие и теплостойкие, а также позволяют затачивать более острое режущее лезвие (с $\rho$ = 1,0–2,0 мкм).

Физико-механические свойства сплавов определяют их режущую способность в различных условиях эксплуатации. Так, 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, ВК10-М и ВК10-ОМ – для черновой обработки с пониженной скоростью резания и увеличенным сечением срезаемого слоя в условиях ударных нагрузок.

***Титано-вольфрамо-кобальтовые сплавы (ТК)*** состоят из трех основных фаз: твердого раствора карбида вольфрама WC в карбиде титана TiC, свободного карбида вольфрама (WC) и связки – кобальта. Предназначены они главным образом для инструментов, обрабатывающих резанием материалы, которые дают сливную стружку (преимущественно – сталей). По сравнению со сплавами группы ВК они имеют большую стойкость против окисления, твердость и жаропрочность, но в то же время меньшую теплопроводность и электропроводность, а также модуль упругости.

Способность сплавов группы ТК больше сопротивляться изнашиванию под воздействием скользящей стружки объясняется также и тем, что температура адгезионного схватывания со сталью у сплавов этого типа выше, чем у сплавов группы ВК, что позволяет применять более высокие скорости резания при обработке стали и существенно повышать стойкость инструмента.

Так же как у сплавов на основе WC–Co, у сплавов типа ТК предел прочности на изгиб и сжатие и ударная вязкость увеличиваются с ростом содержания кобальта (табл. 2.4).

Теплопроводность сплавов группы ТК существенно ниже, а коэффициент линейного термического расширения выше, чем у сплавов группы ВК. Соответственно меняются и режущие свойства сплавов: при увеличе-

нии содержания кобальта снижается износостойкость при резании, а при увеличении содержания карбида титана снижается прочность. Поэтому такие сплавы, как Т30К4 и Т15К6, применяют для чистовой и получистовой обработки стали с высокой скоростью резания и малыми нагрузками на инструмент. В то же время сплавы Т5К10 и Т5К12 с наибольшим содержанием кобальта предназначены для работы в тяжелых условиях ударных нагрузок с пониженной скоростью резания.

Таблица 2.4

Состав и основные физико-механические свойства сплавов на основе WC–TiC–Co (группа ТК) по ГОСТ 3882-74 (ISO 513-75)

| Сплав | Состав, % | | | Предел прочности на изгиб $R_{bm}$, МПа, не менее | Плотность $\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м$^3$ | HRA, не менее |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | WC | TiC–WC | Co | | | |
| Т30К4 | 66 | 30 | 4 | 980 | 9,5–9,8 | 92,0 |
| Т15К6 | 79 | 15 | 6 | 1176 | 11,1–11,6 | 90,0 |
| Т14К8 | 78 | 14 | 8 | 1274 | 11,2–11,6 | 89,5 |
| Т5К10 | 85 | 6 | 9 | 1421 | 12,4–13,1 | 88,5 |
| Т5К12 | 83 | 5 | 12 | 1666 | 13,1–13,5 | 87,0 |

Путем совершенствования существующих технологий получены высокопрочные сплавы, применяемые для обработки сталей со значительными ударными нагрузками (например, Т4К8-КС для замены стандартного сплава Т5К10).

Промышленные ***титано-тантало-вольфрамо-кобальтовые твердые сплавы (ТТК)*** группы WC–TiC–TaC–Co состоят из трех основных фаз: твердого раствора карбидов тантала TaC, ниобия NbC и вольфрама WC в карбиде титана TiC, свободного карбида вольфрама (WC) и связки на основе кобальта.

Введение в сплавы добавок карбида тантала улучшает их физико-механические и эксплуатационные свойства, что выражается в увеличении прочности на изгиб и твердости при комнатной и повышенной температурах. Карбид тантала в сплавах снижает ползучесть, существенно повышает предел усталости трехфазных сплавов при циклическом нагружении, а также термостойкость и стойкость против окисления на воздухе.

Увеличение в сплаве содержания карбида тантала повышает его стойкость, особенно благодаря меньшей склонности к лункообразованию

и разрушению под действием термоциклических и усталостных нагрузок (табл. 2.5). Поэтому танталосодержащие сплавы рекомендуются главным образом для тяжелых условий резания, когда на режущую кромку инструмента действуют значительные силовые и температурные нагрузки, а также для прерывистого резания, особенно фрезерования.

Таблица 2.5

Состав и основные физико-механические свойства сплавов на основе WC–TiC–TaC–Co (группа ТТК) по ГОСТ 3882-74 (ISO 513-75)

| Сплав | Состав, % | | | | Предел прочности на изгиб $R_{bm}$, МПа, не менее | Плотность $\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м$^3$ | HRA, не менее |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | WC | TiC | TaC | Co | | | |
| ТТ7К12 | 81 | 4 | 3 | 12 | 1666 | 13,0–13,8 | 87,0 |
| ТТ10К8-Б | 82 | 3 | 7 | 8 | 1617 | 13,5–13,8 | 89,0 |
| ТТ20К9 | 67 | 9,4 | 14,1 | 9,5 | 1470 | 12,0–13,0 | 91,0 |
| ТТ8К6 | 84 | 8 | 2 | 6 | 1323 | 12,8–13,3 | 90,5 |

Наиболее прочным сплавом, которым оснащается инструмент для обработки стали в особенно неблагоприятных условиях (прерывистое точение, строгание, черновое фрезерование), является сплав ТТ7К12. Применение его вместо быстрорежущей стали позволяет повысить скорость резания в 1,5–2,0 раза.

Для операций фрезерования применяются сплавы ТТ20К9 (обработка стали) и ТТ8К6 (обработка чугуна). Последний также используется для чистовой и получистовой обработки труднообрабатываемых материалов.

В связи с дефицитностью вольфрама и кобальта промышленность многих стран начала производство ***безвольфрамовых (титановых) твердых сплавов (БВТС)*** на основе карбидов (TiC) и карбонитридов титана (TiCN) с никель-молибденовой связкой (табл. 2.6). Обозначение марок этих сплавов – условное и никакой информации о химическом составе не несет.

БВТС отличаются высокой твердостью, окалиностойкостью, имеют низкий коэффициент трения по стали и пониженную склонность к адгезионному взаимодействию с обрабатываемым материалом, что уменьшает изнашивание инструмента и позволяет получить меньшую шероховатость обработанной поверхности. В то же время титановые сплавы имеют

меньшие модуль упругости, теплопроводность и ударную вязкость, потому они хуже сопротивляются ударной и тепловой нагрузке, а также отличаются пониженной теплостойкостью по сравнению со сплавом Т15К6.

Т а б л и ц а 2 .6

Состав и физико-механические свойства
безвольфрамовых твердых сплавов (ГОСТ 26530-85)

| Сплав | Состав, % | | | | ρ, г/см$^3$ | $R_{bm}$, МПа, не менее | HRA не менее |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | TiC | TiCN | Ni | Mo | | | |
| КНТ16 | – | 74 | 19,5 | 6,5 | 5,5–6,0 | 1200 | 89 |
| ТН20 | 79 | – | 15,0 | 6,0 | 5,5–6,0 | 1050 | 90 |

Эффективно применение БВТС в виде сменных многогранных пластин, т. к. при напайке и заточке из-за низкой теплопроводности и большого коэффициента линейного расширения возможно появление внутренних напряжений и, как следствие, трещин, снижающих их эксплуатационную стойкость.

В последнее время появились еще более прочные марки БВТС: ТНМ25, ТНМ30, КНТ20, КНТ30. Их предел прочности на изгиб $R_{bm}$ соответственно равняется 1280 МПа, 1370 МПа, 1550 МПа и 1700МПа.

***Твердые сплавы на основе WC–Co рекомендуют*** для обработки серых, модифицированных и отбеленных чугунов, цветных металлов и их сплавов, стеклопластиков и других подобных материалов, дающих короткую сыпучую стружку (стружку надлома). Имея высокую прочность, сплавы WC–Co лучше сопротивляются переменной (ударной) нагрузке.

Сплавы типа ВК рекомендуются также для обработки труднообрабатываемых высокопрочных и жаропрочных материалов, особенно сплавов на основе никеля и титана, которые обладают высокой прочностью и значительным сопротивлением ползучести при высоких температурах, а также низкой теплопроводностью. При обработке резанием таких материалов на поверхности контакта инструмент-заготовка возникают очень высокие температуры и напряжения, происходят схватывание и последующий отрыв частиц твердого сплава. Лучшую стойкость в этих условиях показывают особомелкозернистые высококобальтовые сплавы.

***Твердые сплавы на основе WC–TiC–Co рекомендуют*** в случае обработки стали при высоких скоростях резания, когда образуется сливная стружка. В этом случае изнашивание инструмента имеет природу диффузионного растворения составляющих инструментального материала

в обрабатываемом. Твердый раствор карбида вольфрама в карбиде титана растворяется в стали при более высокой температуре и намного медленнее, чем свободный карбид вольфрама.

При диффузионном механизме изнашивания его скорость, определяемая скоростью растворения карбидных зерен в стали, в большей степени зависит от химических свойств сплава, чем от его твердости, связанной с зернистостью. В таких условиях значительно большей стойкостью обладают безвольфрамовые сплавы, основой которых является карбид или карбонитрид титана. Они взаимодействуют со сталью менее интенсивно, чем сложный карбид WC–TiC.

***Твердые сплавы на основе WC–TiC–TaC–Co рекомендуют*** при прерывистом резании, например, фрезеровании, когда поверхности лезвия инструмента работают в условиях знакопеременных термоциклических напряжений. Поэтому для оснащения фрезерного, строгального инструмента применяют трехкарбидные твердые сплавы, наименее чувствительные к термической усталости и динамическим циклическим нагрузкам.

Современные марки твердых сплавов, выпускаемые ведущими отечественными и международными фирмами, имеют коммерческие названия и обязательно классифицируются по области их применения. Для этого обычно используют рекомендации международной организации стандартов ISO, которые предусматривают их использование для групп обрабатываемых материалов с учетом типа образуемой стружки, типа обработки (чистовая, получистовая, легкая черновая и черновая); условий обработки (хорошие, нормальные и тяжелые); а также видов обработки (точение, растачивание, фрезерование и др.). Твердые сплавы по **ISO 513: 2004** подразделяются на шесть основных групп:

- в группу **P** (обозначаются синими цветом) входят сплавы для обработки конструкционных углеродистых, легированных и инструментальных сталей и стального литья, при обработке которых получается ***сплошная (сливная) стружка***;
- в группу **M** (желтый цвет) входят сплавы для обработки ферритных, мартенситных, аустенитных нержавеющих, марганцовистых высоколегированных сталей, легированных чугунов, при обработке которых получают ***как стружку надлома (элементную***), так и ***сплошную*** (***сливную***);
- в группу **K** (красный цвет) входят сплавы для обработки ковких и серых чугунов, при обработке которых получают ***стружку надлома*** и ***элементную***;

• в группу **N** (зеленый цвет) входят материалы для обработки цветных металлов и сплавов, неметаллов и пластмасс;

• в группу **S** (оранжевый цвет) входят материалы для обработки жаропрочных сплавов на основе железа, никеля, кобальта и титана;

• в группу **H** (серый цвет) входят материалы для обработки твердых (закаленных) материалов и сплавов.

Каждая группа применения делится на подгруппы, причем с увеличением индекса подгруппы от 01 до 50 условия обработки становятся более жесткими, начиная от чистового резания и заканчивая черновым с ударами. Чем выше индекс подгруппы применения, тем ниже будет износостойкость твердого сплава и допустимая скорость резания; но выше прочность (ударная вязкость), допустимая подача и глубина резания.

Скорость резания, непрерывность обработки, жесткость системы СПИЗ, способ получения заготовки (состояние обрабатываемой поверхности) позволяют определить условия обработки и сформулировать требования к основным свойствам твердого сплава. Условия обработки могут быть ***хорошими, нормальными*** и ***тяжелыми.***

***Хорошие.*** Высокие скорости. Непрерывное резание. Предварительно обработанные заготовки. Высокая жесткость технологической системы СПИЗ. Требования к твердому сплаву **– *высокая износостойкость*.**

***Нормальные.*** Умеренные скорости резания. Контурное точение. Поковки и отливки. Достаточно жесткая система СПИЗ. 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 СПИЗ. Требования к твердому сплаву **– *высокая прочность*.**

Кроме подгрупп применения определяется тип обработки *(чистовое, получистовое, получерновое и черновое),* что позволяет ориентироваться в величинах глубины резания и подачи (табл. 2.7).

Таблица 2.7

Тип обработки в зависимости от размеров срезаемого слоя

| Параметры режима резания | Тип обработки | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Чистовая | Полу-чистовая | Полу-черновая | Черновая |
| Глубина t, мм | 0,25–2,00 | 0,5–3,0 | 2,0–6,0 | 5,0–10,0 |
| Подача S, мм/об | 0,05–0,15 | 0,1–0,3 | 0,2–0,5 | 0,4–1,8 |

Используя рекомендации табл. 2.7, 2.8, 2.9, можно быстро и эффективно подобрать марку твердого сплава для резания любого материала в конкретных условиях.

Таблица 2.8

Определение области применения твердых сплавов
в зависимости от условий и типа обработки

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

Таблица 2.9

Классификация современных твердых сплавов
по стандарту ISO 513: 2004

| Группы резания | | Подгруппы применения | | | Марка твердого сплава |
|---|---|---|---|---|---|
| Обозначение | Цвет и маркировка | Обозначение | Обрабатываемый материал и тип стружки | Тип обработки и условия применения | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| P | Синий | P01 | Сталь, стальное литье, которые дают сливную стружку | Чистовое точение, растачивание, развертывание без вибраций | T30K4 |
| | | P10 | | Точение, точение, по копиру, нарезание резьбы, фрезерование, рассверливание, растачивание | T15K6, KHT16, TH20 |

Продолжение табл. 2.9

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| Р | Синий | Р20 | Сталь, стальное литье, ковкий чугун, цветные металлы, которые дают сливную стружку | Точение, точение по копиру, фрезерование | Т14К8, КНТ16, КНТ30 |
| | | Р30 | | Черновое точение, фрезерование и строгание | Т5К10 |
| | | Р40 | Сталь, стальное литье с включениями песка и раковинами | Для работ в особо неблагоприятных условиях* | ТТ7К12 |
| М | Желтый | М05 М10 | Сталь, стальное литье, высоколегированные аустенитные, жаропрочные труднообрабат. стали и сплавы, серые, ковкие и легированные чугуны | Точение, развертывание | ВК6–ОМ, ВК6–М, ТТ8К6 |
| | | М20 | Стальное литье, аустенитные, марганцовистые, жаропрочные, труднообрабатываемые стали и сплавы | Точение, фрезерование | ТТ10К8–Б |
| | | М30 | Сплавы, серый и ковкий чугуны, которые дают как сливную, так и стружку надлома | Точение, фрезерование, строгание. Условия резания неблагоприятные* | ВК10–ОМ, ВК10–ХОМ, ВК8 |
| | | М40 | Низкоуглеродистая сталь с низкой прочностью, автоматная сталь и другие металлы, которые дают как сливную, так и стружку надлома | Точение, фасонное точение, отрезание, преимущественно на станках-автоматах | ТТ7К12 |
| К | Красный | К01 | Серый чугун высокой твердости, алюминиевые сплавы с большим содержимым кремния. Закаленная сталь, абразивные пластмассы, керамика, которые дают стружку надлома | Чистовое точение, растачивание, фрезерование и шабрение | ВК3, ВК3–М |

Окончание табл. 2.9

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| К | Красный | К05 | Легированные и отбеленные чугуны, закаленные нержавеющие стали, высокопрочные и жаропрочные стали и сплавы, что дают стружку надлома | Чистовое и получистовое точение, растачивание, развертывание, нарезание резьбы | ВК6–ОМ, ТТ8К6 |
| | | К10 | Серый и ковкий чугуны, преимущественно повышенной твердости, закаленная сталь, алюминиевые и медные сплавы, пластмассы, стекло, керамика, которые дают стружку надлома | Точение, растачивание, фрезерование, сверление | ТТ8К6, ВК6–М, ВК6–ОМ |
| | | К20 | Серый чугун, цветные металлы, сильно абразивная прессованная древесина, пластмассы | Точение, фрезерование, строгание, сверление | ВК6 |
| | | К30 | Серый чугун низкой твердости и прочности, сталь низкой прочности, древесина, цветные металлы, пластмасса | Точение, фрезерование, строгание, сверление. Работа в неблагоприятных условиях* | ВК8, ВК10–ХОМ |
| | | К40 | Цветные металлы, древесина, пластмассы, которые дают стружку надлома | Точение, фрезерование, строгание | ВК8, ВК10–М, ВК10 |

* Неблагоприятными условиями следует считать работу с переменной глубиной резания, с прерывистой подачей, с ударами, вибрациями, с наличием литейной корки и абразивных включений в обрабатываемом материале.

## Лекция 4. Режущая керамика

Промышленность выпускает четыре группы режущей керамики: оксидную (белая керамика) на основе $Al_2O_3$, оксидно-карбидную (черная керамика) на основе композиции $Al_2O_3$–TiC, оксидно-нитридную на основе $Al_2O_3$–TiN и нитридную керамику на основе $Si_3N_4$.

Основной особенностью режущей керамики является отсутствие фазы связки, которая значительно снижает степень ее разупрочнения при высоких температурах резания, повышает пластичную прочность, что и определяет возможность применения для керамики высоких скоростей резания, намного превосходящих скорости резания инструментами из твердого сплава. Если предельный уровень скоростей резания для твердосплавного инструмента при чистовом точении сталей с малыми критериями затупления составляет 500–600 м/мин, то для инструмента, оснащенного режущей керамикой, он увеличивается до 900–1000 м/мин.

Составы основных типов режущей керамики и области применения представлены в табл. 2.10.

Таблица 2.10

Состав и области использования режущей керамики

| Группы и марки керамики | | Состав | Область использования |
|---|---|---|---|
| Оксидная | ЦМ332 | $Al_2O_3$ – 99 %, MgO – 1 % | К01–К05 |
| | ВО–13 | $Al_2O_3$ – 99 % | Р01–Р10<br>К01–К05 |
| | ВШ–75 | $Al_2O_3$ | К01–К05 |
| Оксидно-карбидная | В–3 | $Al_2O_3$– 60 %, TiC – 40 % | Р01–Р10 |
| | ВОК–63 | $Al_2O_3$ – 60 %, TiC – 40 % | Р01–Р05<br>К01–К05 |
| | ВОК–71 | $Al_2O_3$ – 60 %, TiC – 40 % | Р01–Р05<br>К01–К05 |
| | ВОК–200 | $Al_2O_3$,TiC | Р01–Р05<br>К01–К05 |
| Оксидно-нитридная | ОНТ–20 (кортинит) | $Al_2O_3$ > 60 %, TiN – 30 % | К01–К05 |
| Нитридная | РК–30 (силинит-Р) | $Si_3N_4$, $Y_2O_3$, TiC | К10–К20 |

Недостаток оксидной керамики – ее относительно высокая чувствительность к резким температурным колебаниям (тепловым ударам).

Указанное является главной причиной микро- или макровыкрашиваний режущей кромки и контактных площадок инструмента уже на первых минутах резания, приводящего к отказам из-за хрупкого разрушения инструмента. Поэтому охлаждение при резании керамикой не применяют.

В последние годы появились новые марки оксидной керамики, в состав которых введена окись циркония ($ZrO_2$) и выполнено ее армирование «нитевидными» кристаллами карбида и нитрида кремния (SiC, $Si_3N_4$) (так называемая «вискеризированная керамика»). Армированная керамика имеет высокую твердость (HRA 92) и повышенную прочность на изгиб ($R_{bm}$ до 1000 МПа). Перспективным направлением является создание слоистой керамики. Примером такого композита является ВОК-95С, ВОК-95М, рабочий слой которого сформирован из керамики ВОК-71, а подложка (основа) – из твердого сплава.

Параллельно с усовершенствованием керамических материалов на основе оксида алюминия созданы новые марки режущей керамики на основе нитрида кремния $Si_3N_4$ (силинит-Р). Этот керамический материал имеет высокую прочность на изгиб ($R_{bm}$ = 800 МПа), низкий коэффициент термического расширения, что выгодно отличает его от оксидных керамических материалов. Это позволяет с успехом использовать инструмент с нитридной керамикой при черновом точении, получистовом фрезеровании чугуна, а также чистовом точении высоколегированных и термообработанных (до HRC 60) сталей и сплавов.

Особой сферой использования инструментов с нитридной керамикой на базе $Si_3N_4$ является обработка жаропрочных «суперсплавов» на основе Ni.

Режущую керамику выпускают в виде неперетачиваемых сменных пластин с отрицательными фасками по периметру с двух сторон. Фаска необходима для упрочнения режущего лезвия. Ее ширина 0,2–0,8 мм, передний угол отрицательный от –10º до –30º.

Допустимая величина изнашивания керамических пластин немного меньше, чем для твердосплавных. Так максимальный износ по задней поверхности не должен превышать 0,3–0,5 мм, а при чистовых операциях 0,25–0,30 мм.

В современных условиях инструмент оснащенный керамикой, рекомендуют для чистовой обработки серых, ковких, высокопрочных и отбеленных чугунов, низко- и высоколегированных сталей, в том числе закаленных (до HRC 55–60), цветных сплавов, конструкционных полимерных материалов для областей применения К01–К05, Р01–Р05. В указанных условиях инструмент, оснащенный пластинами из режущей керамики, заметно превосходит по работоспособности твердосплавный инструмент.

Применение керамического инструмента при обработке с повышенными значениями глубины резания и подачи при прерывистом резании резко снижает его эффективность вследствие высокой вероятности внезапного отказа из-за хрупкого разрушения режущей части.

Как один из первых способов устранения основных недостатков керамических инструментов стало создание металло-композитов, которые содержат тугоплавкие окислы ($Al_2O_3$), карбиды (WC, TiC, ZrC, $Cr_3C_2$, $Mo_2C$), нитриды (TiN) материалов и металлическую связку (Ni, Mo, W, Cr). Эти материалы получили название ***керметы***. По данным разных фирм процентное содержание в кермете как твердой фазы (окисла, карбидной или нитридной), так и металлической варьируется в достаточно широких пределах и потому керметы могут считаться и керамикой, и безвольфрамовыми твердыми сплавами. Марки, которые предлагаются рядом западных фирм, по своим свойствам занимают промежуточное место между указанными материалами.

## Лекция 5. Сверхтвердые материалы инструментального назначения

Сверхтвердыми принято считать материалы, имеющие микротвердость выше 35 ГПа по Виккерсу. Из природных сверхтвердых материалов использование в режущих инструментах имеет только алмаз. Искусственными сверхтвердыми материалами инструментального назначения является синтетический алмаз и плотные модификации нитрида бора.

Инструментальная промышленность выпускает синтетические сверхтвердые материалы на основе алмаза и плотных модификаций нитрида бора.

***Естественный алмаз*** – самый твердый материал на Земле, который издавна применялся как режущий инструмент. Принципиальное отличие монокристаллического природного алмаза от инструментальных материалов, которые имеют поликристаллическое строение, заключается в возможности получения практически идеально острой и прямолинейной режущей кромки. Поэтому в конце XX века с развитием электроники, прецизионного машиностроения и приборостроения применение резцов из природных алмазов для микроточения зеркально чистых поверхностей оптических деталей, дисков памяти, барабанов копировальной техники и т. п. растет. Однако через дороговизну и хрупкость природные алмазы

не применяются в общем машиностроении, где требования к качеству обработки деталей не настолько высокие.

Теория синтеза алмаза впервые была предложена харьковским физиком О. И. Лейпунским (в 1939 г.), который на основе экспериментальных данных об обратном переходе алмаза в графит сформулировал условие перехода графита в алмаз и рассчитал кривую равновесия графит-алмаз при высоких давлениях. Синтез алмаза из графита при высоких давлениях (больше 4,0 ГПа) и температурах (свыше 1400ºК) осуществляется в присутствии металлических растворителей углерода (Ni, Fe, Co и др.).

***Кубический нитрид бора (КНБ)*** – сверхтвердый материал, который не имеет природного аналога. Впервые кубический нитрид бора был синтезирован в 1956 году (фирмой «Дженерал Электрик») при высоких давлениях (свыше 4,0 ГПа) и температуре (свыше 1473 К) из гексагонального нитрида бора в присутствии щелочных и щелочноземельных металлов (свинец, сурьма, олово и др.). Кубический нитрид бора, который выпускается фирмой «Дженерал Электрик», был назван «Боразон».

Синтетические монокристаллы алмаза и КНБ имеют относительно малые размеры, поэтому для использования в качестве материала для режущих инструментов их спекают в поликристаллические структуры.

***Поликристаллические сверхтвердые материалы (ПСТМ)*** на основе алмаза и кубического нитрида бора появились на рубеже 60–70 годов. Характерной чертой таких материалов является наличие твердого каркаса из сросшихся зерен алмаза или КНБ (рис. 2.1). Спекание порошков алмаза и КНБ, как правило, осуществляется в области термодинамической стабильности алмаза и КНБ при давлении 5–9 ГПа и температурах 1500–2000 К. Обычное спекание поликристаллических композиционных материалов осуществляют в присутствии активирующих этот процесс добавок: для алмазных порошков – кобальт или кремний, а для порошков КНБ – алюминий.

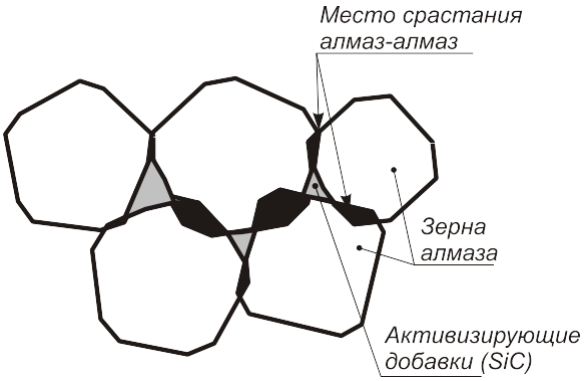


Рисунок 2.1 – Структура алмазного композиционного поликристаллического материала

Классификация ПСТМ основана на способе их получения и особенностях структуры. Основные способы получения ПСТМ показаны в табл. 2.11.

При переходе графита в алмаз в присутствии растворителя получают искусственные алмазы марок АСПК (карбонадо) и АСБ (баллас),

структура которых идентична структуре природных алмазов таких же названий. Спеканием порошков алмаза получают марки АКТМ, СКМ, СВБН, карбонит и др. композиты.

Таблица 2.11

Способы получения ПСТМ

| Группа | Способ получения | Пример |
|---|---|---|
| 1 | Переход графита в алмаз в присутствии растворителя | АСПК, АСБ |
| | Переход графитоподобного нитрида бора в кубический (КНБ) в присутствии растворителя | Композит 01, Композит 02 |
| 2 | Спекание порошков алмаза с активирующими добавками | АКТМ, СКМ, СВБН, Карбонит |
| | Спекание вюрцитного и сфалеритного нитридов бора | Композит 10 |
| | Спекание сфалеритного нитрида бора | Киборит, Борсинит, Ниборит |
| 3 | Спекание двухслойных пластин на твердосплавной подложке с алмазным рабочим слоем | АТП |
| | Спекание двухслойных пластин на твердосплавной подложке с рабочим слоем из КНБ | КТП, Композит 10Д |

Спеканием поликристалла на твердосплавной подложке получают двухслойные пластины, которые состоят из рабочего слоя – сверхтвердого материала толщиной 0,5–2 мм, скрепленного с твердосплавной пластиной. Спеканием твердосплавной пластины с алмазным рабочим слоем получают пластины типа АТП, а с рабочим слоем из КНБ–КТП. Различают две плотных модификации нитридов бора – ***сфалеритную*** и ***вюрцитную***. При переходе гексагонального (графитоподобного) нитрида бора в сфалеритный в присутствии растворителя получают Композит 01 (Эльбор-Р) и Композит 02 (Белбор), при переходе вюрцитного нитрида бора в сфалеритный – Композит 9. Спеканием порошков вюрцитного и сфалеритного нитрида бора получают Композит 10 (Гексанит-Р), спеканием порошков сфалеритного нитрида бора – киборит, ниборит, борсинит и др. композиты.

Управление процессом формирования структуры поликристаллов открывает возможности создавать, в зависимости от областей применения,

материалы с необходимым сочетанием твердости, теплопроводности, прочности и электропроводности. Поликристаллические сверхтвердые материалы по своим физико-механическим свойствам могут быть близки к монокристаллам, а по некоторым – превосходить их. Так, большинство алмазных поликристаллов характеризуются изотропией свойств (однородностью в разных направлениях), имеют высокую износостойкость и превосходят монокристаллы по трещиностойкости.

За рубежом на основе технологии спекания алмазных зерен выпускают поликристаллические материалы Syndite 025, Megadiamond, Sumidia, Compax и др., а на основе спекания зерен КНБ Amborite, BZN, Sumiboron, Wurzin и др. Размеры пластин из ПСТМ могут превышать 10 мм в диаметре, что открывает возможность получения инструментов с режущими кромками большой длины.

По сравнению с монокристаллами алмаза ПКА значительно лучше сопротивляются ударной нагрузке, имеют более высокие значения прочности на растяжение и на поперечный сдвиг. При этом ударная прочность поликристаллов алмаза зависит от размеров кристаллитов алмаза и с их уменьшением повышается.

Преимущества инструментальных ПКА по сравнению с монокристаллическими алмазами связаны с произвольной ориентацией кристаллитов в рабочем слое режущих пластин, что обеспечивает высокую однородность по твердости и стойкости к истиранию во всех направлениях.

Во многих случаях наблюдаемая на практике бóльшая износостойкость резцов из синтетических алмазов по сравнению с резцами из природных алмазов объясняется различием их структур. У синтетического поликристаллита алмаза возникающие трещины тормозятся и останавливаются границами кристаллитов. Именно этот фактор и определяет их более высокую (в среднем в 1,5–2,5 раза) износостойкость.

Поликристаллы алмаза отличаются от монокристаллов более высокой термостойкостью. Такие материалы как АКТМ и СВ не теряют свои режущие свойства и прочность при нагреве до 1473 К и выше, что позволяет применять их в инструментах с напаянной режущей частью.

Коэффициент трения ПКА с металлом несколько выше, чем у природных алмазов. Это объясняется наличием пор на поверхности поликристалла, вызванных выпадением частиц кристаллов, а также присутствием частиц металлической фазы (после синтеза) или связки. Однако величина среднего коэффициента трения на передней поверхности ПКА сомногими

металлами не превышает 0,2, что свидетельствует о превалировании в контакте внешнего трения.

Алмаз имеет химическое сродство с железосодержащими материалами. Поэтому при резании сплавов на основе железа на контактных поверхностях алмазного инструмента происходит интенсивное химическое взаимодействие. Углерод, из которого состоит алмаз, активно реагирует с этими материалами при нагревании. Это приводит к интенсивному изнашиванию алмазного инструмента и ограничивает область его применения.

Наиболее эффективно применение алмазного инструмента на чистовых и финишных операциях при обработке деталей из цветных металлов и их сплавов, а так же из древесины и камня. Инструмент может быть использован при точении прерывистых поверхностей и при фрезеровании, однако его стойкость будет ниже, чем при обработке без ударов.

Успешно применяются режущие пластины из ПКА при обработке полимерных композиционных материалов. Использование режущих пластин с механическим креплением позволяет повысить стойкость в 15–20 раз по сравнению с инструментом из твердого сплава.

Еще одной из перспективных областей применения ПКА является обработка трудно поддающихся резанию и вызывающих быстрый износ инструмента таких материалов, как древесностружечные плиты, плиты средней плотности с высоким содержанием клея, с покрытиями на основе меламиновой смолы, декоративный бумажно-слоистый пластик, а также другие материалы, обладающие абразивным действием. Обработка таких материалов обычным инструментом неэкономична. Здесь инструмент из ПКА имеет стойкость в 200–300 раз выше стойкости твердосплавных инструментов.

Геометрические параметры алмазного инструмента во многом определяются свойствами поликристаллов алмаза. Они имеют высокую хрупкость, потому режущие лезвия инструментов должны иметь повышенную прочность. С целью укрепления режущего лезвия угол заострения $\beta$ алмазного инструмента должен назначаться максимально допустимым.

В связи с повышенной чувствительностью инструментов из ПСТМ к вибрациям и ударным нагрузкам к станкам, используемым для обработки режущие элементы из сверхтвердых материалов, предъявляются повышенные требования относительно точности, жесткости и виброустойчивости.

ПСТМ на основе плотных модификаций нитрида бора, незначительно уступая алмазу по твердости, отличаются высокой термостойкостью (до 1573 К), стойкостью к циклическому воздействию высоких температур и, что особенно важно, относительно слабым химическим взаимодействием с железом, которое является основным компонентом большинства современных обрабатываемых конструкционных материалов.

Главным резервом повышения производительности обработки для инструментов на основе BN является повышение скорости резания, которая может превышать скорость резания твердосплавным инструментом в 5 и более раз. Наибольшая эффективность применения инструментов на основе BN имеет место при обработке чугунов, сталей и сплавов высокой твердости.

Одной из возможностей повышения эффективности инструментов из ПСТМ на основе BN является использование смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС). Для инструментов из BN наиболее эффективно использовать жидкие среды путем их распыления при скоростях резания до 1,5–1,7 м/с.

Еще одной из эффективных областей использования инструментов, оснащенных поликристаллами BN, рассматривается обработка напыленных и наплавленных материалов высокой твердости (до HRC 60–62), которыми упрочняют детали металлургического оборудования, транспорта и пр.

В ближайшие годы мировой рынок инструментов из СТМ ожидает резкий подъем. Это объясняется в первую очередь тем, что в разных областях техники все большее применение находят труднообрабатываемые материалы и принципиально новые схемы обработки.

Эффективность инструмента из СТМ более полно проявляется в условиях автоматизированного производства, гибкого изменения технологии механической обработки. При применении СТМ с оптимальными режимами резания на станках с ЧПУ производительность обработки повышается в 1,5–3 раза по сравнению с твердосплавным инструментом, улучшается качество обработанных поверхностей, исключается необходимость последующей абразивной обработки.