

## Лекция №1.5

### Тема 1.1 Сущность и виды обработки материалов резанием

Сущность технологии изготовления деталей машин состоит в последовательном использовании различных технологических способов воздействия на обрабатываемую заготовку для придания ей необходимой формы и размеров с указанной точностью. Одним из таких способов является *механическая обработка заготовок резанием* на металлорежущих станках.

#### 1.1.1 Определение понятия «Обработка резанием»

**Обработка металлов резанием** – процесс срезания режущим инструментом с поверхности заготовки слоя металла в виде стружки для получения необходимой геометрической формы, точности размеров, взаимного расположения и шероховатости поверхностей детали.

#### 1.1.2 Основные виды обработки материалов резанием.

#### 1.1.3 Движения, необходимые для осуществления процессов резания.

Для осуществления процесса резания на металлорежущих станках необходимо обеспечить взаимосвязь формообразующих движений.

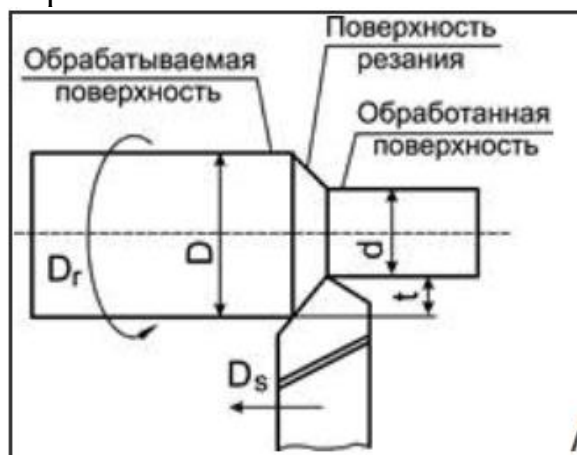
В процессе резания на заготовке различают поверхности:

- обрабатываемую – поверхность заготовки, с которой снимается стружка;
- обработанную – поверхность, образующаяся после снятия стружки;
- поверхность резания, образуемая режущей кромкой инструмента в процессе резания.

Обрабатываемые поверхности могут быть плоскими, цилиндрическими (у геометрических тел вращения), коническими (с прямолинейной образующей), фасонными (с криволинейной образующей) или сложной криволинейной формы (поверхности зубьев зубчатых колес, кулачков, резьбы).

У металлорежущего станка имеется привод (механический, гидравлический, пневматический), с помощью которого обеспечивается передача движения рабочим органам: шпинделю, суппорту и т.п. Комплекс этих движений называется формообразующими движениями. Их квалифицируют на три вида:

1.) **Основные движения (рабочие)**, которые предназначены непосредственно для осуществления процесса резания:



**а) Главное движение ( $Dr$ )** – осуществляется с максимальной скоростью. Может передаваться как заготовке (например, в токарных станках) так и инструменту (например, в сверлильных, шлифовальных, фрезерных станках). Характер движения: вращательный или поступательный. Характеризуется скоростью -  $V$  (м/с);

**б) Движение подачи ( $DS$ )** – осуществляются с меньшей скоростью и так же может передаваться и заготовке и инструменту. Характер движения: вращательный, круговой, поступательный, прерывистый.

Виды подач:

- подача на ход, на двойной ход  $S_x$  (мм/ход),  $S_{дв.х.}$  (мм/дв.ход);
- подача на зуб  $S_z$  (мм/зуб);
- подача на оборот  $S_o$  (мм/оборот);
- частотная (минутная) подача  $S_m$  (об/мин).

**2.) Установочные движения** – движения, обеспечивающие взаимное положение инструмента и заготовки для среза с нее определенного слоя металла.

**3.) Вспомогательные движения** – транспортирование заготовки, закрепление заготовки и инструмента, быстрые перемещения рабочих органов.

Кинематика процесса резания реализуется в конкретных видах обработки. Все виды обработки подразделяются на: лезвийную и абразивную обработку.

**Лезвийная обработка**- обработка резанием, осуществляемая лезвийным инструментом.

**Абразивная обработка**- обработка резанием, осуществляемая абразивным инструментом.

### **Лезвийная обработка**

Вид лезвийной обработки определяется следующими признаками:

- видом и направлением главного движения резания, которое сообщается инструменту или заготовке;
- видом и направлением движения подачи;
- формой получаемой поверхности;
- видом и типом режущего инструмента.

**Строгание и долбление**- обработка резанием с возвратно-поступательным главным движением резания осуществляемая однолезвийным инструментом (см. рис.2.3, а, б, в).

Для этого процесса характерно действие на инструмент ударных нагрузок, небольшие скорости резания (1...1,5 м/с) и низкая производительность обработки вследствие инерционности движущихся частей станков и наличия холостого хода стола или инструмента.

Строгание и долбление применяются при обработке несложных профильных поверхностей с прямолинейными образующими, а также для обработки вертикальных и горизонтальных плоскостей в единичном и массовом производствах.

**Точение**- лезвийная обработка с вращательным главным движением резания и продольной подачи, а также с возможностью изменения радиуса его траектории за счет изменения поперечной подачи.

Это универсальный и широко применяемый вид обработки резанием, позволяющий получать детали, имеющие форму вращения с высокой точностью и качеством.

**Разновидности точения:**

**Обтачивание**- точение наружной поверхности с движением продольной подачи вдоль образующей линии обработанной поверхности (см. рис.2.3 г);

**Растачивание**- точение внутренней поверхности с движением продольной подачи вдоль образующей линии обработанной поверхности (см. рис.2.3 д);

**Подрезание**- точение торцевой поверхности (см. рис.2.3 е).

При точении возможна обработка фасонным резцом и обработка по копиру (см. рис.2.3 б).

**Осевая обработка**- лезвийная обработка с вращательным главным движением резания при постоянном радиусе его траектории и движением подачи только вдоль оси главного движения резания.

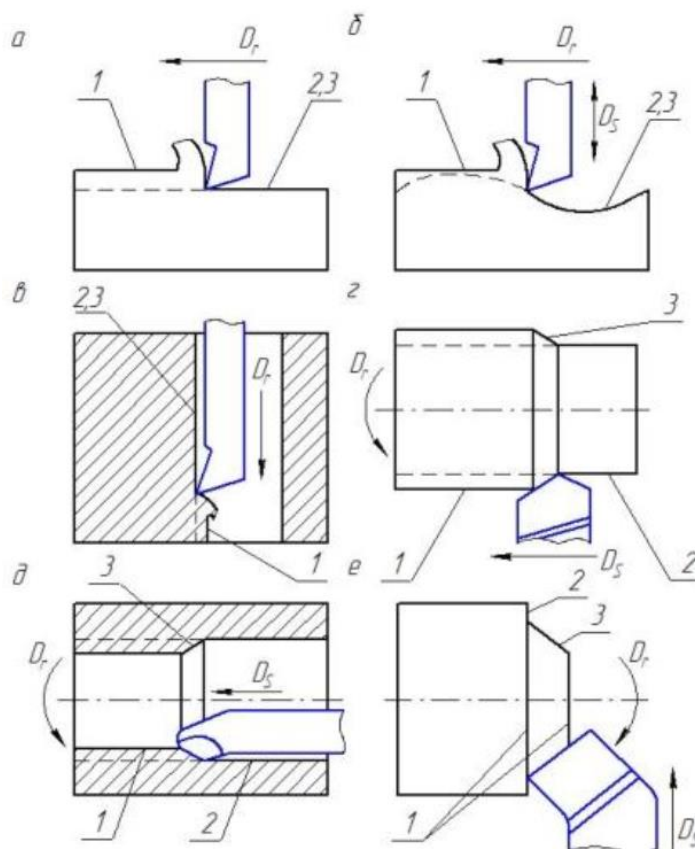


Рис.2.3. Схемы видов лезвийной обработки: а - строгание; б - строгание по копиру; в - долбление; г - обтачивание; д - растачивание; е - подрезание; 1 - обрабатываемая поверхность; 2 - обработанная поверхность; 3 - поверхность резания;  $D_r$  - главное движение;  $D_s$  - движение подачи.

### Основные виды осевой обработки:

**Сверление**- осевая обработка сверлом (см. рис.2.4 а, б). Сверление применяется для получения отверстий в сплошном материале, а также для рассверливания на больший диаметр уже имеющих отверстия и получения центровочных отверстий. Сверлением обеспечивается 11...12-й квалитеты точности и шероховатость обработанной поверхности  $Rz=80...20$  мкм.

**Зенкерование** - осевая обработка зенкером (см. рис.2.4 в).

Зенкерование применяется для обработки предварительно просверленных, прошитых или отлитых отверстий с целью повышения их точности (11...9-й квалитеты) и снижения шероховатости до  $Ra=2$  мкм.

**Развертывание**- осевая обработка разверткой (см. рис.2.4 г).

Развертывание предназначено для окончательной (чистовой) обработки предварительно просверленных или расточенных резцом или зенкером цилиндрических и конических отверстий с точностью до 7-го качества и шероховатостью до  $Ra=0,6$  мкм.

**Зенкование и цекование**- осевая обработка соответственно зенковкой и цековкой (см. рис.2.4 д, е).

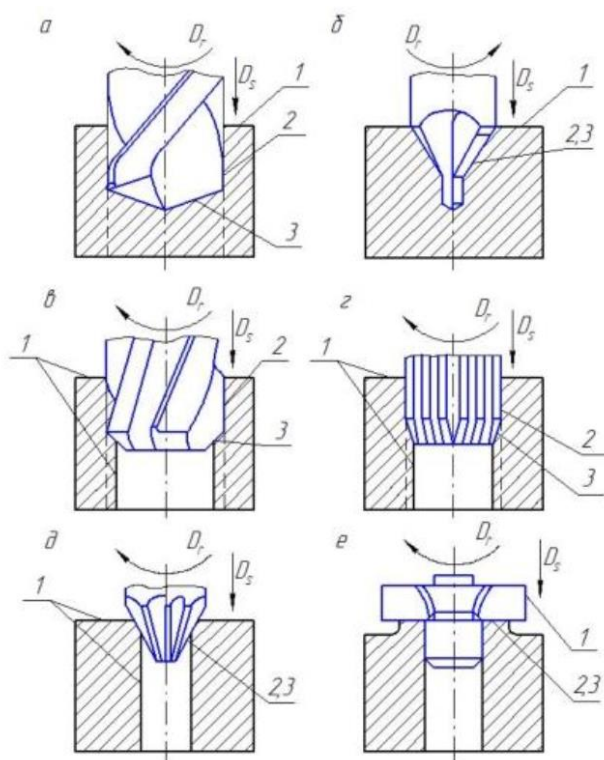


Рис.2.4. Схемы видов лезвийной обработки: а - сверление; б - центрование; в - зенкерование; г - развертывание; д - зенкование; е - цекование; 1 - обрабатываемая поверхность; 2 - обработанная поверхность; 3 - поверхность резания;  $D_r$  - главное движение;  $D_s$  - движение подачи.

**Фрезерование**- лезвийная обработка с вращательным главным движением резания при постоянном радиусе его траектории, сообщаемым инструменту, и хотя бы одним движением подачи, направленным перпендикулярно оси главного движения резания.

Фрезерование применяется при обработке плоскостей, пазов с прямолинейным и винтовым направлением, шлицев, тел вращения, разрезки заготовок, образования резьбы, а также для получения фасонных поверхностей. Фрезерованием обеспечивается 11...9-ый качества точности и шероховатость обработанной поверхности с  $Rz=40...3,2$  мкм.

К особенностям процесса фрезерования относятся: 1) периодически повторяющееся чередование рабочего и холостого циклов движения зуба фрезы; 2) переменность толщины срезаемого слоя и рабочей длины лезвия.

На практике используются:

**Периферийное и торцевое фрезерование**- фрезерование соответственно периферийным и торцевым лезвийным инструментом (см. рис.2.5 а, б);

**Круговое фрезерование**- фрезерование поверхности вращения (см. рис.2.5 в);

В зависимости от направления векторов скоростей главного движения и подачи различают попутное и встречное фрезерование:

**Попутное фрезерование.** Векторы скоростей главного движения резания и движения подачи направлены в одну сторону.

**Встречное фрезерование.** Векторы скоростей главного движения резания и движения подачи направлены в противоположные стороны.

Встречное и попутное фрезерование различаются целым рядом физических и технологических особенностей. Например, попутное фрезерование более спокойный процесс в смысле вибраций, более благоприятно с точки зрения действующих на заготовку сил и уменьшения температуры резания, а также устранения явления наклепа.

**Протягивание**- обработка многолезвийным инструментом с поступательным главным движением резания, распространяемая на всю обрабатываемую поверхность без движения подачи. Срезание припуска осуществляется за счет превышения (подъема) последующего зуба над предыдущим.

Производительность этого процесса, несмотря на низкие скорости резания (до  $0,2...0,3\text{ м/с}$ ), в  $5...10$  раз выше фрезерования и в  $10...15$  раз - зенкерования и развертывания.

Применяется в массовом и серийном производствах при получении отверстий, обработке плоских и цилиндрических наружных поверхностей с точностью до  $7...9$  квалитетов и шероховатостью  $Rz=6,3...0,8$  мкм. К особенностям протягивания относится прерывистый характер работы лезвий инструмента, ударные нагрузки на зуб, срезание припуска большим количеством зубьев.

**Внутреннее протягивание**- протягивание внутренней замкнутой поверхности и ее элемента (см. рис.2.5, г).

**Наружное протягивание**- протягивание наружной или незамкнутой внутренней поверхности (см. рис.2.5, д).

**Ротационная обработка**- обработка лезвийным инструментом с касательным движением режущей кромки (см. рис.2.5 е).

Этот вид резания применяется для обработки плоскостей, наружных и внутренних цилиндрических поверхностей. За счет периодической смены участков режущей кромки в процессе резания стойкость ротационного инструмента в десятки раз выше стойкости, например, токарного резца. При этом обеспечивается высокая производительность и качество обработки.

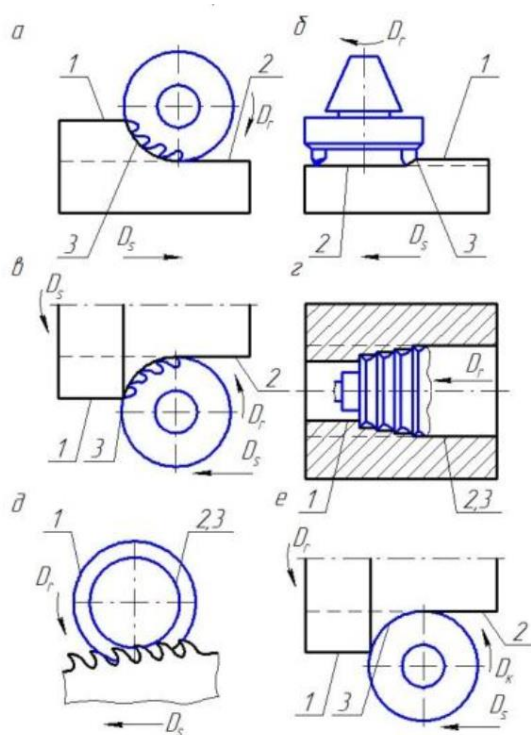


Рис.2.5 Схемы видов лезвийной обработки: а - периферийное (цилиндрическое, дисковое и т.п.) фрезерование; б - торцовое фрезерование; в - круговое фрезерование; г - внутреннее протягивание; д - наружное протягивание; е - ротационное точение. 1 - обрабатываемая поверхность; 2 - обработанная поверхность; 3 - поверхность резания;  $D_r$  - главное движение;  $D_s$  - движение подачи;  $D_k$  - касательное движение.

**Зубонарезание** может осуществляться по методу копирования и методу обкатки.

При способе обработки методом копирования профиль инструмента (см. рис.2.6, а, б) определяется профилем впадины нарезаемого колеса.

Нарезание зубчатых колес по методу обкатки производится червячными модульными фрезами, долбьяками, строгальными резцами и другими инструментами по определенной кинематической схеме (см. рис.2.6, в, г, д, е).

Особенности зубонарезания: изменяется сечение срезаемого слоя за время обработки одним зубом; одновременно участвуют в резании несколько зубьев; различные участки лезвия неодинаково нагружаются из-за различного среза и имеют различную скорость резания.

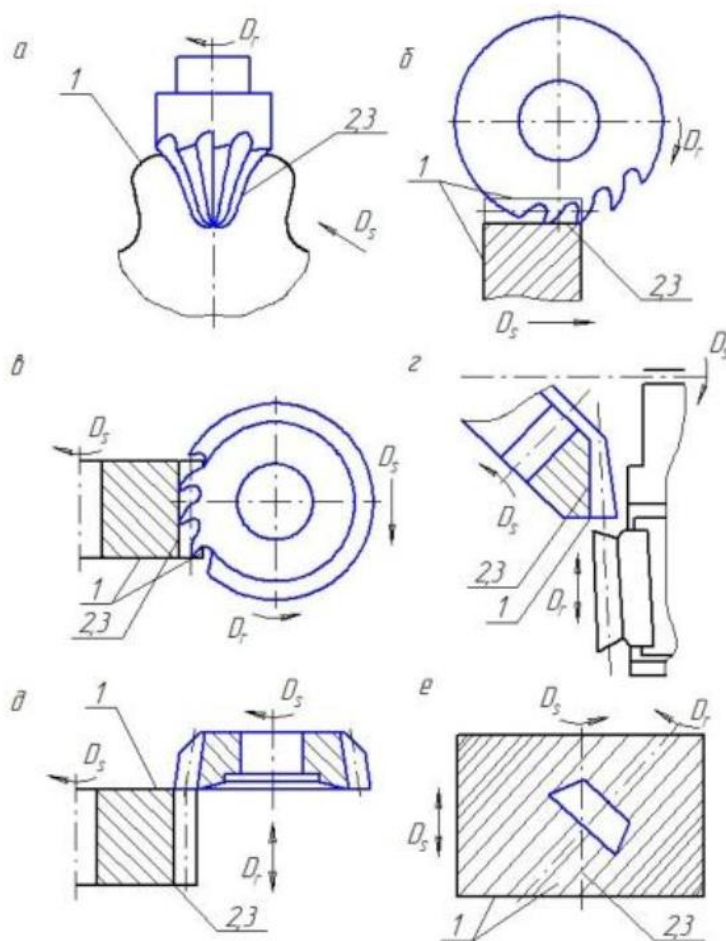


Рис.2.6. Схемы зубонарезания: а - модульной пальцевой фрезой; б - модульной дисковой фрезой; в - зубофрезерование модульной червячной фрезой; г - зубострогание; д - зубодолбление; е - зуботочение долбьяком.

1 - обрабатываемая поверхность; 2 - обработанная поверхность; 3 - поверхность резания;  $D_r$  - главное движение;  $D_s$  - движение подачи.

**Резьбонарезание** осуществляется по любой кинематической схеме.

**Лезвийным инструментом** (резцом, метчиком, плашкой, фрезой, гребенкой и т.д.).

К особенностям резьбонарезания относятся:

1) срезание стружки тонкими слоями;

2) участие в работе двух и более лезвий.

**Абразивным инструментом** (одно- и многониточными кругами).

**Пластическим деформированием** (накатыванием плашками, роликами, раскатками).

### **Абразивная обработка**

**Шлифование** — это процесс резания, осуществляемый зернами абразивного, алмазного или эльборового материалов.

Обеспечивает 6...9 качества точности и шероховатость обработанной поверхности  $Ra=0,63...0,64$  мкм. Особенности: многопроходность, высокая скорость резания (30...70 м/с) и температура резания.

**Ленточное шлифование**- обработка абразивными лентами. Абразивные ленты применяются для формообразования деталей при круглом, внутреннем и бесцентровом шлифовании, для обработки поверхностей деталей сложной формы, для обдирки, доводки и полировки.

**Хонингование**- обработка абразивными брусками, которым сообщают, как правило, три движения по отношению к заготовке: вращение, возвратно-поступательное перемещение и радиальную подачу.

**Суперфиниширование**- отделочная обработка поверхностей деталей мелкозернистыми абразивными брусками. Особенностью процесса является колебательное движение брусков с частотой 500...5000 дв.ход/мин. и амплитудой 2...5 мм. Получают поверхность шероховатостью до  $Ra=0,08...0,16$  мкм с минимальной огранкой (0,5 мкм).

**Доводка**- резание-царапанье обрабатываемой поверхности большим количеством мельчайших абразивных частиц. Применяют для финишной обработки высокоточных плоских и фасонных поверхностей, отверстий малого диаметра, шариков для подшипников, деталей топливной аппаратуры и др. Достигается шероховатость поверхности  $Ra = 0,01...0,16$  мкм и погрешность формы не более 0,5...0,1 мм. Для доводки используют абразивные порошки и пасты, а также притиры, например, чугунные.

### **Виды абразивной обработки:**

Круглое и внутреннее шлифование (см. рис.2.7, а, б),

Плоское шлифование периферией и торцом круга (см. рис.2.7, в, г),

Бесцентровое шлифование (см. рис.2.7, д),

Зубошлифование, сферошлифование, заточка лезвия инструмента (см. рис.2.7, е)

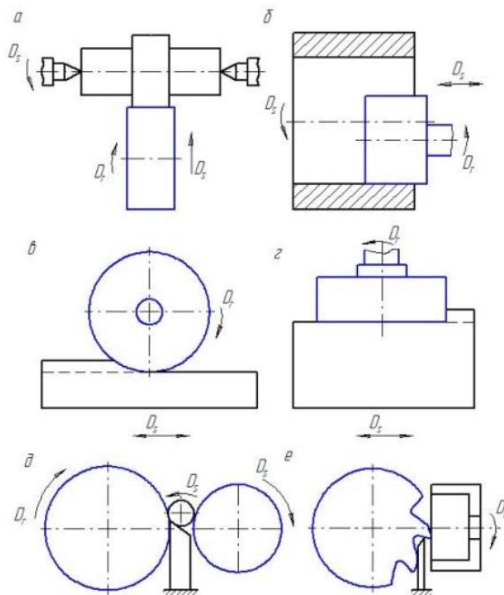


Рис.2.7. Схемы абразивной обработки: а - круглое наружное шлифование; б - внутреннее шлифование; в и г - плоское шлифование соответственно периферией и торцом круга; д - бесцентровое шлифование; е - заточка лезвия фрезы  
 $D_g$  - главное движение;  $D_s$  - движение подачи.

### 1.1.4 Понятие о режущем инструменте

Любой из режущих инструментов имеет **рабочую (режущую)** и **крепежную части**. В основе режущей части лежит клин, предназначенный для снятия стружки.

**Крепежная часть**, оформленная в виде корпуса или хвостовика, служит для установки, базирования и закрепления инструмента на станке.

**Клин**, как основа всякого режущего инструмента, должен быть прочным и правильным по форме. Наиболее резко клин выражен в таких режущих инструментах, как зубило и резец. Основные элементы режущего клина представлены на рисунке 113, б. Как видно из рисунка, клин имеет переднюю и заднюю грани, режущую кромку и угол заострения.

**Передняя и задняя грани клина** — это две плоскости, пересекающиеся между собой под определенным углом. Грань, которая при работе обращена наружу и по которой сходит стружка, называется **передней**, а грань, обращенная к обрабатываемому материалу, — **задней**.

Режущая кромка — острое ребро инструмента, образуемое пересечением передней и задней граней.



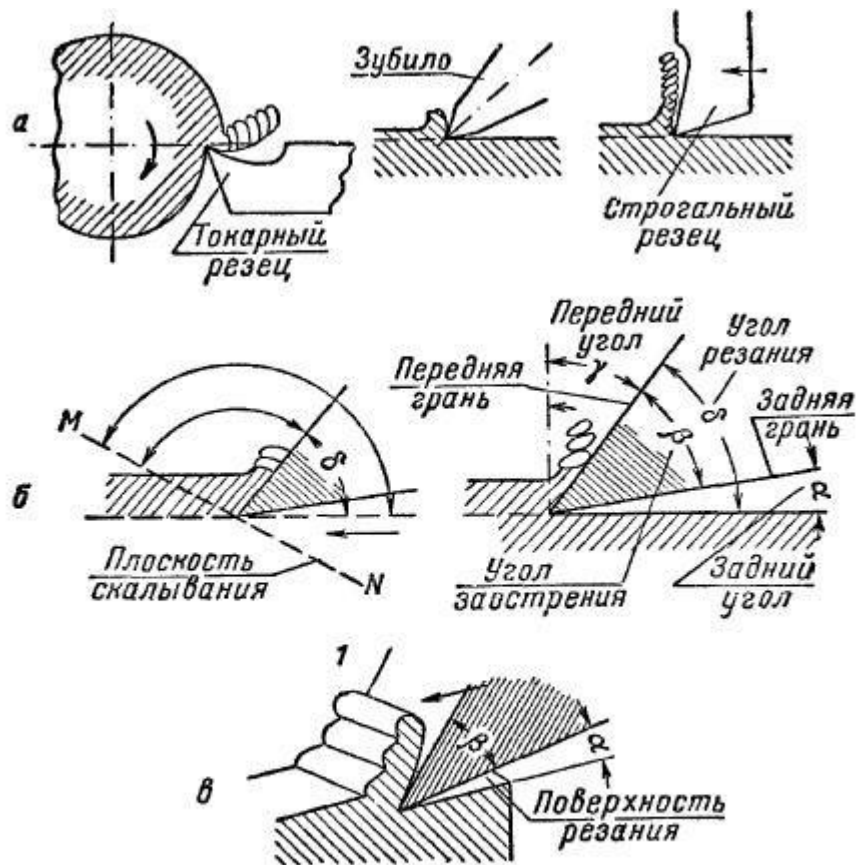


Рис. 113. Схема образования стружки и углы режущего инструмента:  
а—схемы резания; б и в—углы режущего инструмента.

Нормальные условия резания обеспечиваются благодаря наличию у режущего инструмента соответствующих углов.

**Передний угол** находится между передней гранью клина и плоскостью, перпендикулярной к поверхности резания, проведенной через режущую кромку клина. Обозначается этот угол греческой буквой  $\gamma$  (гамма).

**Задний угол** находится между задней гранью клина и поверхностью резания; обозначается греческой буквой  $\alpha$  (альфа).

**Угол заострения** находится между передней гранью клина и поверхностью резания; обозначается греческой буквой  $\beta$  (бета).

В процессе работы режущим инструментом отделение слоя металла от остальной его массы с образованием стружки происходит следующим образом.

Клинообразное стальное тело режущего инструмента под действием определенной силы давит на металл и, сжимая его, сначала смещает, а затем скалывает частицы металла, которые, перемещаясь, образуют стружку.

Скалывание частиц стружки происходит по так называемой плоскости скалывания (рис. 113, б), расположенной под углом к передней грани клина. Угол между плоскостью скалывания и поверхностью резания называется углом скалывания.

Различают **главную** и **вспомогательную режущие кромки**.

Первая служит для срезания основной части припуска, а вторая — лишь частично участвует в этом процессе и служит для зачистки и окончательного формирования обработанной поверхности.

У некоторых инструментов, например, резьбонарезных, вспомогательные режущие кромки отсутствуют.

С целью обеспечения работоспособности многолезвийных инструментов пространство между лезвиями должно быть достаточным по объему для свободного

размещения снимаемой стружки. С этой же целью на передних поверхностях часто предусматривают углубления, уступы и другие элементы для завивания или дробления стружки. При большой ширине срезаемых слоев на режущих кромках делают канавки или выемки для деления стружки по ширине и рационального распределения нагрузки между лезвиями.

У многих режущих инструментов (сверла, зенкеры, развертки, протяжки и др.) рабочая часть делится на режущую и калибрующую.

Режущая часть служит для снятия основного припуска, калибрующая – для окончательного формирования обработанной поверхности и восполнения режущей части инструмента при переточках (в некоторых случаях она также служит для направления инструмента и обеспечения его самоподачи. (например, у резьбонарезных инструментов).

У инструментов для обработки отверстий калибрующая часть оформляется в виде «ленточек», на которых расположены вспомогательные режущие кромки.

Ленточки служат для направления и базирования инструментов в отверстиях, а вспомогательные кромки – для окончательного формирования обработанной поверхности отверстий.

Для предотвращения защемления инструментов в отверстиях и снижения сил трения на ленточках вследствие упругой деформации обработанных поверхностей, как правило, предусматривается небольшая конусность, т.е. уменьшение наружного диаметра инструмента в направлении к хвостовику.

Для подвода смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) в рабочей части инструментов могут быть внутренние каналы.

Режущие инструменты работают в условиях больших нагрузок, высоких температур, трения и износа. Поэтому инструментальные материалы должны удовлетворять особым эксплуатационным требованиям. Материал рабочей части инструмента должен иметь большую твёрдость (значительно выше твёрдости материала обрабатываемой заготовки), высокие допускаемые напряжения на изгиб, растяжение, сжатие и кручение. Важнейшими характеристиками являются **красностойкость** и **износостойкость**.

**Красностойкость**- это способность стали длительно сохранять структуру мартенсита, а, следовательно, и высокую твёрдость, и износостойкость при повышенных температурах, возникающих за счет трения при резании.

**Износостойкость режущего инструмента** характеризуется его способностью обрабатывать материал в заданном режиме без переточки в единицу времени.

Большинство конструкций металлорежущего инструмента являются составными – рабочая часть из инструментального материала, а крепёжная из обычных конструкционных сталей (40, 45, 50, 40Х и др.).

Рабочую часть в виде пластин или стержней соединяют с крепёжной при помощи сварки, пайки или специальных высокотемпературных клеев, механического крепления и др.

Легированные инструментальные стали (9ХВГ, ХВГ, ХГ, 6ХС, 9ХС и др.) используются для изготовления протяжек, свёрл, метчиков, плашек, разверток. Они имеют красностойкость 250–300 °С и допускают скорость резания 15–25 м/мин.

Более широкое применение находят быстрорежущие стали. Самыми

распространёнными являются: P9, P12, P18, P6M3, P6M5, P9Ф5, P14Ф4, P18Ф2, P9K5, P9K10, P10K5Ф2, P10K5Ф5. Твёрдость таких сталей составляет HRC 62–65, красностойкость 600–630°С. Обладая повышенной износостойкостью они могут работать со скоростями до 100 м/мин.

Твёрдые сплавы группы ВК используются для обработки твёрдых и хрупких металлов, пластмасс и неметаллических материалов.

Двухкарбидные сплавы рекомендуются для обработки изделий из пластичных и вязких металлов и сплавов.

Трёхкарбидные сплавы отличаются от первых двух повышенной износостойкостью, прочностью и вязкостью и применяются для обработки деталей из труднообрабатываемых сталей аустенитного класса.

В последние годы всё более широко используются безвольфрамовые твёрдые сплавы ТМ1, ТМ3, ТН-20, ТН-30, ТН-40, КТН-16 и др. на основе карбидов или других соединений титана с добавками молибдена, никеля и других тугоплавких металлов. Например, сплав ТМ1 имеет износостойкость при обработке стали 50 в 2 раза выше, чем сплав Т30К4.

Производительность обработки резанием существенно возрастает при использовании инструментов, оснащённых поликристаллами сверхтвёрдых материалов (СТМ) на основе кубического (КНБ) или вюрциподобного (ВНБ) нитрида бора и синтетических алмазов (СА).

В настоящее время инструментальная промышленность выпускает две группы СТМ на основе нитрида бора (композиты) и углерода (поликристаллические алмазы). Твёрдость поликристаллических алмазов выше, чем твёрдость композитов. Однако теплостойкость в 1,5–2 раза ниже. Композиты практически инертны к чёрным металлам, а алмазы проявляют к ним значительную активность при высоких температурах. Это приводит к тому, что инструмент из СТМ наиболее выгодно использовать на автоматических линиях, станках с ЧПУ, в гибких производственных модулях и др., т. е. там где обеспечивается оптимальный режим резания, имеется возможность плавного ввода и вывода инструмента из контакта с обрабатываемой заготовкой, высокоэффективный контроль за его эксплуатацией.

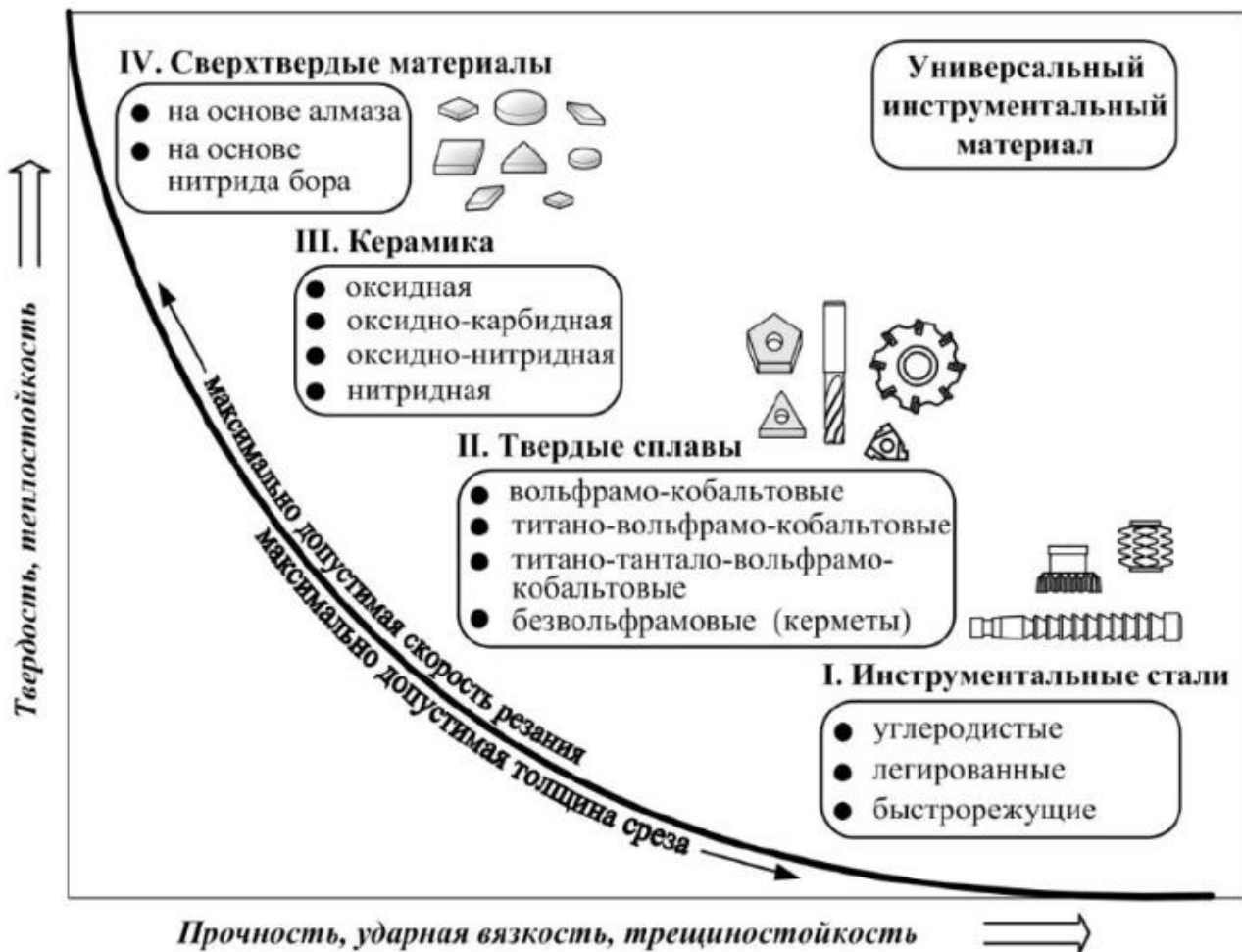


Рис. 3.1. Классификация инструментальных материалов по их свойствам

На рис.3.1 представлена классификация инструментальных материалов, предназначенных для изготовления лезвийных инструментов, по их прочности и твердости. Как видно, ни в одной группе нет материала с оптимальным сочетания таких свойств как удельная вязкость, прочность, трещиностойкость с одной стороны и твердость, износостойкость и теплостойкость с другой стороны. Кроме того, видно, что необходимо стремиться к такому «идеальному» инструментальному материалу, в котором удачно сочетаются вышеперечисленные свойства.

## Инструментальные материалы

### 1.2.1 Требования, предъявляемые к инструментальным материалам.

Технология обработки металлов резанием развивалась скачкообразно. Каждому скачку на более высокий уровень всегда предшествовала разработка новых инструментальных материалов с более высокими физико-механическими свойствами.

Инструмент в процессе эксплуатации находится в сложном состоянии. Он испытывает высокие контактные напряжения, чаще всего изгиба и кручения (до 4000 МПа). Режущая кромка находится в условиях всестороннего неравномерного сжатия. Многие инструменты, особенно многозубые, подвергаются действию ударных нагрузок. При недостаточной прочности инструментального материала это может привести к поломке инструмента или выкрашиванию режущих кромок.

Режущая кромка инструмента испытывает воздействие высоких температур. При резании с режимами, принятыми для быстрорежущей стали, температура в зоне резания достигает 600-650° С, для твердого сплава – 900-950° С. Это может привести к существенным изменениям в структуре и свойствах материала.

Свойства, которые инструментальный материал проявляет в инструменте, и которые определяют длительность и эффективность его эксплуатации, называются **стойкостными свойствами**. Эти свойства можно определить только в процессе промышленной эксплуатации готовых инструментов, а не инструментального материала. Эти свойства представляют собой комплексную характеристику, которая зависит от нескольких различно действующих факторов:

- свойства инструментального материала;
- режимы резания;
- характеристика процесса резания (точение, сверление и т.д.), изменяющая напряженное состояние инструмента;
- свойства обрабатываемого материала;
- другие трудно учитываемые факторы (наладка оборудования, условия изготовления инструмента, культура производства и т.д.).

Стойкостные испытания должны проводиться для большой группы инструментов, длительное время, что требует больших затрат.

Поэтому большое значение имеет определение свойств непосредственно инструментальных материалов, которые в достаточной степени могут характеризовать стойкостные свойства инструмента. Эти свойства зависят от состава, структуры и обработки материала.

К основным или эксплуатационным свойствам инструментального материала относятся: механические, физические, тепловые свойства после окончательной обработки.

**Твердость** – важнейшее свойство инструментальных материалов. Инструмент недостаточной твердости очень быстро теряет свою форму и размеры. Для нормальной работы твердость инструментального материала должна превышать твердость обрабатываемого материала минимум в 1,5-2 раза.

#### ***С повышением твердости:***

1. повышается износостойкость материала, его предел прочности и текучести;
2. повышается чистота поверхности инструмента, которая может быть достигнута при его заточке;
3. уменьшается вероятность налипания обрабатываемого материала на поверхности инструмента;

4. уменьшается коэффициент трения между обрабатываемыми поверхностями и инструментом, следовательно, снижается сила резания;

5. повышается чистота обработанной поверхности.

Однако, повышение твердости может привести к повышению стойкости инструмента в одних условиях и к ее снижению в других. Существенное повышение твердости приводит к снижению прочности и ударной вязкости, что приводит к снижению стойкости инструмента при черновой обработке, при действии ударных нагрузок.

**Прочность.** Высокую прочность, в отличие от твердости, инструментальный материал должен иметь не только в поверхностном слое, но и в более удаленных местах, где возникают наибольшие напряжения. Это наиболее важно для мелких инструментов. По статистическим данным более 70 % мелких инструментов выходят из строя по причине поломки, а не износа.

Для инструментальных материалов большое значение имеет сочетание прочности и твердости. Прочность характеризует сопротивление хрупкому разрушению и в большинстве случаев не пропорциональна твердости.

При одинаковой твердости 62-65 HRC предел прочности при изгибе может изменяться от 3500-3800 МПа до 1200-1500 МПа. Это связано с различной величиной зерна, состоянием границ зерен, распределением карбидов.

Прочность снижается почти пропорционально росту зерна и увеличению степени карбидной неоднородности. Укрупнение зерна на 1 балл приводит к снижению прочности быстрорежущей стали на 200-300 МПа.

Чем выше твердость материала, тем ниже его прочность. Поэтому набор основных свойств и определяет область и условие рационального использования инструментального материала в режущем инструменте.

Например, инструмент из сверхтвердых инструментальных материалов на основе алмаза и кубического нитрида бора или из режущей керамики РК, используют исключительно для суперчистой обработки изделий на высоких и сверхвысоких скоростях резания, но при весьма ограниченных сечениях среза.

При обработке конструкционных сталей на малых и средних скоростях резания в сочетании со средними и большими сечениями среза большие преимущества получают инструменты из быстрорежущей стали.

Вязкость характеризует сопротивление материала образованию трещин и разрушению под действием ударных нагрузок. При разрушении материала работа затрачивается, в основном, на зарождение трещины, работа распространения трещины очень мала. Поэтому при недостаточной вязкости происходит выкрашивание режущей кромки и поломка инструмента при врезании.

Для инструментальных сталей не наблюдается строгой зависимости между твердостью и вязкостью. При неизменной твердости можно добиться повышения вязкости за счет измельчения зерна или уменьшения балла карбидной неоднородности.

**Теплостойкость** (красностойкость) характеризует способность инструментального материала сохранять структуру и свойства при нагреве. Это свойство очень важно, как при изготовлении инструмента (заточка), так и при эксплуатации.

Для быстрорежущей стали – теплостойкость еще называют красностойкостью (т.е. сохранение твердости при нагреве до температур начала свечения стали).

В области температур ниже 550-600° С для быстрорежущей стали разупрочнение при нагреве является обратимым и незначительным.

При нагреве до более высоких температур «горячая» твердость резко снижается и после охлаждения не восстанавливается. При снижении «горячей» твердости ниже 60 HRC резко падает износостойкость и происходит почти полная потеря режущей способности инструмента («тепловая посадка инструмента»). Это явление связано со структурными превращениями в металле: распад мартенсита и коагуляция фазупрочнителей.

Повысить теплостойкость можно за счет легирования, получения большего количества фаз-упрочнителей, повышения температуры закалки, за счет повышения степени легированности твердого раствора. Все это приводит к понижению прочности и вязкости металла.

Значения температур красностойкости и максимальной скорости резания для различных инструментальных материалов приведены в табл.1.

Таблица 1

Теплостойкость и допустимая скорость резания инструментальных материалов Материал	Теплостойкость, К	Скорость резанья при обработке стали 45 м/мин
Углеродистая сталь	200-250	10-15
Легированная сталь	200-260	15-30
Быстрорежущая сталь	600-670	40-60
Твердые сплавы	900-1100	150-250
Безвольфрамовые тв. сплавы	1073-1100	100-300
Твердые сплавы с покрытием	1273-1373	200-300
Керамика	1200-1500	400-600

**Износостойкость** – способность материала сопротивляться изнашиванию. Она зависит не только от структуры и свойств инструментального материала, но и от свойств обрабатываемого материала, коэффициента трения, внешних условий (температура, механические воздействия, наличие смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ)).

При уменьшении коэффициента трения возрастает стойкость инструмента за счет уменьшения тепловыделения и снижения адгезии и налипания. При повышении твердости инструментального материала при постоянной твердости обрабатываемого материала коэффициент трения снижается.

**Физические свойства.** Из физических свойств для инструментальных материалов наиболее важными являются коэффициент линейного расширения, коэффициент теплопроводности и коэффициент трения.

Увеличение коэффициента теплопроводности приводит к снижению температуры в зоне резания за счет интенсивного отвода тепла в ниже лежащие слои инструмента.

Уменьшение коэффициента линейного расширения приводит к уменьшению внутренних напряжений при теплосменах. При легировании сталей Cr, W, Mo, Co, Ni, уменьшается коэффициент линейного расширения.

**Теплопроводность.** Важной характеристикой инструментального материала является теплопроводность, под которой понимают скорость распространения теплоты в неравномерно нагретом теле. В процессе работы инструмента в зоне резания температура сильно повышается. Для повышения работоспособности инструмента необходимо, чтобы эта температура отводилась от зоны резания. Перераспределение тепла между стружкой, инструментом и обрабатываемой заготовкой изменяется в

зависимости от теплопроводности материала. При обработке инструментом из материала с высокой теплопроводностью улучшаются условия отвода тепла из зоны резания, что способствует снижению температуры резания и повышению износостойкости инструмента.

При изготовлении режущего инструмента последней операцией является его шлифование. Процесс шлифования сопровождается интенсивным нагревом обрабатываемой поверхности. Повышение теплопроводности инструментального материала в этом случае также оказывает положительное влияние, так как уменьшается опасность возникновения микротрещин и прижогов.

**Прокаливаемость** определяет распределение твердости по сечению инструмента, а, следовательно, его сопротивление высоким давлениям (при получении закаленного слоя достаточной толщины) и динамическим нагрузкам (вязкая сердцевина).

Следует иметь в виду, что повышение одних свойств неизбежно приводит к снижению других. Поэтому невозможно получить в одном материале максимальное сочетание всех свойств. Задача состоит в том, чтобы выбрать оптимальные значения тех свойств, которые наиболее важны в данных условиях эксплуатации, при минимальном снижении других свойств.

Инструментальный материал должен обладать **технологическими свойствами**, обеспечивающими оптимальные условия изготовления из него инструментов. Для инструментальных сталей ими являются хорошая обрабатываемость резанием и давлением; благоприятные особенности термической обработки (малая чувствительность к перегреву и обезуглероживанию, хорошие закаливаемость и прокаливаемость, минимальные деформирование и образование трещин при закалке и т.д.); хорошая шлифуемость после термической обработки.

При обработке конструкционных сталей на малых и средних скоростях резания в сочетании со средними и большими сечениями среза большие преимущества получают инструменты из быстрорежущей стали.

## **КЛАССИФИКАЦИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

### **1. Инструментальные стали:**

- 1.1 углеродистые (преимущественно пониженной прокаливаемости);
- 1.2 легированные (повышенной прокаливаемости);
- 1.3 быстрорежущие;
- 1.4 карбидостали.

### **2. Твердые сплавы:**

- 2.1 Вольфрамкобальтовые сплавы; ВК
- 2.2 Титановольфрамкобальтовые сплавы; ТК
- 2.3 Титанотанталовольфрамвокобальтовые; ТТК
- 2.4 Безвольфрамовые твердые сплавы. БВТС

### **3. Минералокерамика.**

### **4. Абразивные материалы.**

### **5. Алмазы и сверхтвердые материалы.**

#### **1.2.2 Конструкционные стали**

Конструкционные стали - это стали, из которых изготавливают всевозможные детали машин, инженерные конструкции, приборы.

Конструкционные стали должны обладать высокой конструктивной прочностью, обеспечивать длительную и надежную работу конструкции в условиях эксплуатации.



Поэтому особенность требований, предъявляемых к конструкционным материалам, состоит в необходимости обеспечения комплекса высоких механических свойств, а не одной какой-либо характеристики.

Различают следующие **виды конструкционных сталей**:

- углеродистые;
- легированные;
- низколегированные;
- теплоустойчивые;
- подшипниковые;
- пружинные;
- автоматные стали.

**Достоинствами углеродистых сталей** являются:

- *высокая твердость на поверхности*;
- *сохранение вязкой сердцевины при закалке*, способность воспринимать повышенные динамические нагрузки;
- *содержание небольшого количества остаточного аустенита*, обеспечивающего высокое сопротивление пластической деформации в рабочих кромках; 5 -8 %
- *низкая твердость в отожженном состоянии*, позволяющая изготовить инструмент пластической деформацией и обуславливающая хорошую обрабатываемость резанием; 150-170 НВ
- *сохранение чистой поверхности* (нет окисления и обезуглероживания) вследствие низкой температуры.

### **Недостатки:**

Основными недостатками углеродистых инструментальных сталей является их невысокая прокаливаемость 5 -10 мм , низкая теплостойкость до 200 С , то есть инструменты могут работать только при невысоких скоростях резания.

1. Низкая и неоднородная твердость 60 HRC в тонких сечениях (пилы). За время переноса из закалочной печи в охлаждающую среду инструмент неравномерно остывает. Часто наблюдаются «мягкие пятна».

2. Узкий интервал закалочных температур, большая чувствительность к перегреву, что служит причиной повышения хрупкости и выкрашиванию режущих кромок из-за роста зерна. Повышение температуры закалки на 10 -15 С резко снижает прочность и вязкость.

3. При малых сечениях инструмент прокаливается насквозь, что снижает его прочность. При  $\varnothing > 30$  мм инструмент имеет недостаточный закаленный слой. Не рекомендуется использовать для инструментов  $\varnothing < 1$  мм и  $\varnothing > 30$  мм. Свойства этих сталей зависят от содержания углерода. С увеличением его содержания увеличивается износостойкость, твердость практически не меняется. Максимальной прочностью обладает сталь У11А, при дальнейшем увеличении содержания углерода прочность немного снижается из-за увеличивающейся карбидной неоднородности и роста зерна.

Интенсивность влияния углерода зависит от сечения инструмента. При  $\varnothing = 1 - 5$  мм высокая твердость после закалки достигается уже при содержании 0,6 - 0,7% С. При больших сечениях такая же твердость достигается при содержании 0,8 - 0,9% С.

Инструменты из этих сталей не подвергают шлифованию, так как при нагреве во время шлифования возможна потеря режущих свойств.

Сейчас используют стали марок: У7, У7А (63 - 65 HRC после закалки от 800 С в *воде, масле*); У8 , У8А , У9 (63 - 65 HRC после закалки от 800-780° С на *воздухе, в масле*); У10 , У12 , У12А (64 - 66 HRC после закалки 760-780° С на *воздухе или в масле*).

После **закалки** в структуре сталей должен быть **мартенсит** или **М (мартенсит) + ост А + К (карбиды)**. **Отпуск** сталей проводят в зависимости от необходимых (требуемых) свойств - низкий, средний.

При низком отпуске 200-300° С происходит снятие внутренних напряжений и образуется структура Мотп + Аос. Для снижения твердости и создания благоприятной структуры, все инструментальные стали до изготовления инструмента подвергают отжигу.

Для заэвтектоидных сталей проводят сфероидизирующий отжиг, в результате которого *цементит вторичный* приобретает зернистую форму. Регулируя скорость охлаждения можно получить любой размер зерен.

Для *напильников, метчиков, плашек* отпуск проводят при температуре 150 - 200° С, при этом обеспечивается получение максимальной твердости — HRC 62 - 64.

Для **инструментов небольших размеров**: не обладающие теплостойкостью У8, У10, У11, У12, У13 вследствие малой устойчивости переохлажденного аустенита

Для **режущего инструмента** (*фрезы, зенкеры, сверла, спиральные пилы, ножовки, напильники, острый хирургический инструмент*) обычно применяют **заэвтектоидные стали** У10, У11, У12, У13, у которых после термообработки структура – *мартенсит и карбиды*.

**Деревообрабатывающий инструмент**: *зубила, кернеры, отвертки, топоры* изготавливают из сталей У7, У8, которые после термообработки имеют *трооститную* структуру. Температура закалки У8 - У12 должна быть 760-810° С, в результате получаем *мартенситную* структуру и сохраняется мелкозернистая структура и частицы вторичного цементита. **Отпуск** проводят при 150-170° С для сохранения высокой твердости HRC 62 - 63. Сталь У7 закалывают с нагревом выше точки Ас3 на 30 -50 С и подвергают **отпуску** при 275 - 325° С.

Из сталей марок У7, У8А изготавливают инструмент для работы по дереву и инструмент ударного действия, когда требуется повышенная вязкость – *пуансоны, зубила, штампы, молотки*.

Стали марок У9 - У12 обладают более высокой твердостью и износостойкостью – используются для изготовления *сверл, метчиков, фрез*.

Сталь У13 обладает максимальной твердостью, используется для изготовления *напильников, граверного инструмента*.

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ (СТАЛИ ПОВЫШЕННОЙ ПРОКАЛИВАЕМОСТИ)

Содержат 0,9-1,4% углерода. В качестве легирующих элементов содержат **хром, вольфрам, ванадий, марганец, кремний и другие**. Общее содержание легирующих элементов до 5%.

Они подразделяются на:

- низколегированные 9ХФ, ХВГ, 11ХФ;
- стали повышенной прокаливаемости 9ХС, ХВСГ, Х6ВФ.

Низколегированные стали отличаются от углеродистых содержанием легирующих элементов, суммарное количество которых не превышает 1-1,5%.

**Свойства:** твердость 62-64 HRC,

прочность  $\sigma_u = 2500 - 2800$  МПа,

теплостойкость  $t = 250-280$  С,

допустимая скорость резания  $v$  до 15 м/мин.

**Преимущества:**

1. лучшая прокаливаемость и закаливаемость при охлаждении в масле;
2. малая склонность к короблению и деформации при закалке. Поэтому рекомендуется для сложных инструментов, не подвергающихся шлифованию (резьбонарезной инструмент);
3. меньший балл карбидной неоднородности из-за более низкого содержания углерода. В прокате до  $\varnothing 60$ мм балл карбидной неоднородности не превышает 1 - 2;
4. легирование кремнием снижает чувствительность к перегреву, способствует сохранению мелкого зерна.

**Недостатки:** при содержании  $> 0,8 - 1\%$  Si резко ухудшаются технологические свойства, твердость в отожженном состоянии повышается до 210 - 240НВ, повышается склонность к обезуглероживанию поверхности, плохая обрабатываемость резанием и деформированием из-за упрочнения феррита кремнием.

*Термическая обработка* включает **закалку и отпуск**.

Проводят закалку с температуры 800 - 850° С в *масло* или *ступенчатую закалку*. Малая скорость охлаждения при закалке уменьшает опасность образования трещин, деформации и коробления, к которому склонны углеродистые инструментальные стали. Отпуск проводят низкотемпературный, при температуре 150 - 200°С, что обеспечивает твердость 61 - 66 HRC. Иногда, для увеличения вязкости, температуру отпуска увеличивают до 300° С, но при этом наблюдается снижение твердости 55- 60 HRC.

Легированные инструментальные стали подобно углеродистым не обладают теплостойкостью пригодны для резания только мягких материалов с небольшой скоростью. Тут структура устойчивого переохлажденного *аустенита*, большая прокаливаемость. Подвергают сталь ступенчатой закалке в масле и горячих средах. Химический состав инструментальных легированных сталей выбирается таким образом, чтобы, сохранив преимущества углеродистых сталей, уменьшить их недостатки. В закаленном состоянии стали имеют более высокую и равномерную твердость.

Для режущих инструментов используются низколегированные стали марок 9ХФ, ХВГ, 11ХФ, 9ХС, ХВСГ, 13Х, В2Ф, ХВ4 и др. Эти стали обладают более высокими технологическими свойствами – лучшей закаливаемостью и прокаливаемостью, меньшей склонности к короблению, но теплостойкость их равна 350 - 400°С и поэтому они используются для изготовления ручных инструментов (разверток) или инструментов, предназначенных для обработки на станках с низкими скоростями резания (мелкие сверла, метчики).

Для деревообрабатывающего инструмента из сталей 6ХС и 9ХФ рекомендуется изотермическая закалка, значительно улучшающая вязкость.

Повышенное содержание **кремния** (сталь 9ХС) способствует увеличению **прокаливаемости** до 40 мм и повышению устойчивости мартенсита при отпуске.

Стали эти имеют большую теплостойкость, хорошие режущие свойства и сравнительно мало деформируются при закалке. Вольфрамовые стали В2Ф и ХВ4 после **закалки** в водных растворах имеют очень высокую твердость и применяются для пил.

“Алмазная” сталь ХВ5 содержит 5% W. Благодаря присутствию W, в термически обработанном состоянии имеет избыточную мелкодисперсную карбидную фазу. Твердость составляет HRC 65-67. Сталь используется для изготовления инструмента, сохраняющего длительное время острую режущую кромку и высокую размерную точность (развертки, фасонные резцы, граверный инструмент).

Сталь ХВСГ в наибольшей степени удовлетворяет условиям рационального легирования. После закалке в горячем масле 150-180°C обеспечивается твердость 60-62 HRC в инструментах сечением до Ø 100 мм. Пониженное содержание W и Mo понижает чувствительность к перегреву. Используется для изготовления плашек, протяжек.

Сталь ХВГ имеет большой балл карбидной неоднородности и более склонна к образованию карбидной сетки. Это увеличивает опасность выкрашивания режущих кромок. Поэтому инструменты из этой стали не рекомендуется использовать в тяжелых условиях. Повышенное содержание Mn улучшает прокаливаемость и уменьшает коробление в процессе закалки. Поэтому широко используется для изготовления тонких длинных инструментов (ножовочные полотна, протяжки).

Сталь 9ХС – самая распространенная марка легированной инструментальной стали.

### **БЫСТРОРЕЖУЩИЕ СТАЛИ**

Быстрорежущие стали — легированные стали, предназначенные, главным образом, для изготовления металлорежущего инструмента. По сравнению с углеродистыми инструментальными сталями обладают повышенной твердостью, износостойкостью, прочностью и красностокостью, что обусловлено наличием в их составе карбида вольфрама. Название «быстрорежущие» связано с тем, что режимы работы инструмента из этих сталей предусматривают повышенные скорости обработки материала, по сравнению с инструментом из углеродистых сталей, из-за высокой теплостойкости 550-650° С.

Быстрорежущие стали склонны к росту зерна. Для получения оптимальных свойств инструментов из быстрорежущей стали необходимо устранить структурную неоднородность стали – *карбидную ликвацию*. Для этого слитки из быстрорежущей стали подвергаются интенсивной пластической деформации (ковке). При этом происходит дробление карбидов эвтектики и достигается более однородное распределение карбидов по сечению заготовки.

Прочность и стойкость быстрорежущей стали определяются не только химическим составом, но и режимом термической обработки, которая включает отжиг, закалку и отпуск при определенных температурах.

В результате предварительной обработки резанием в заготовке инструмента возникают внутренние напряжения, которые могут способствовать образованию трещин, изменению формы и размеров заготовки после термообработки. Применение отжига устраняет в заготовке внутренние напряжения, обеспечивает получение мелкозернистой и равномерной структуры материала, что повышает качество дальнейшей механической и термической обработки.

Отжиг проводят путем медленного и равномерного нагрева до 800-860 °С с последующей выдержкой для выравнивания температуры по всему поперечному сечению инструмента и затем обеспечивают равномерное охлаждение в печи.

Структура отожженной быстрорежущей стали – *мелкозернистый (сорбитообразный) перлит и карбиды*. Количество карбидов около 25%. Сталь с такой структурой хорошо обрабатывается резанием. Подавляющее количество легирующих элементов находятся в карбидной фазе. Для получения оптимальных свойств стали в готовом инструменте

необходимо при термической обработке обеспечить максимальное насыщение *мартенсита* легирующими элементами.

Для предотвращения образования трещин и деформации инструмента из-за низкой теплопроводности сталей нагрев под закалку проводят с одним или двумя подогревами в расплавленных солях: первый — при 400-500°C, второй — при 800-850°C. Окончательный нагрев также проводят в соляной ванне  $\text{BaCl}_2$  с очень малой выдержкой при  $T_3$ : 10 – 12с на 1 мм толщины инструмента из сталей типа и для сталей типа В11М7К23. Это позволяет избежать роста *аустенитного зерна* (не крупнее № 10), окисления и обезуглероживания. "Р" 30 - 60 с

Инструменты простой формы закаливают в *масле*, а сложной — в *растворах солей*  $\text{KNO}_3$  при 250 - 400° С.

После закалки структура быстрорежущей стали состоит из *высоколегированного мартенсита*, содержащего 0,3 – 0,4%, не растворенных при нагреве избыточных карбидов, и около 20-30% остаточного *аустенита*. Последний снижает твердость, режущие свойства инструмента, ухудшает шлифуемость, и его присутствие нежелательно.

После закалки проводят отпуск. При многократном отпуске из *остаточного аустенита* выделяются дисперсные карбиды, легированность *аустенита* уменьшается, и он претерпевает *мартенситное превращение*. Обычно применяют трехкратный отпуск при 550-570°C в течение 45-60 мин.

Такой отпуск позволяет снимать остаточные напряжения в *аустените*, не вызывая его распада.

Число отпусков может быть сокращено при обработке холодом после закалки, в результате которой уменьшается содержание *остаточного аустенита*. Обработке холодом подвергают инструменты сравнительно простой формы. Твердость после **закалки** 62 - 63 HRC, а после **отпуска** она увеличивается до 63 - 65 HRC.

Для дальнейшего повышения твердости, износостойкости и коррозионной стойкости поверхностного слоя режущих инструментов применяют такие технологические операции, как *цианирование, азотирование, сульфидирование*, обработку паром и другие технологии поверхностного упрочнения. Их выполняют после окончательной термообработки, шлифования и заточки инструментов.

### 1.2.3 Металлокерамические твердые сплавы

Под металлокерамическими твердыми сплавами понимают сплавы на основе высокотвердых и тугоплавких карбидов вольфрама, титана, тантала, соединенных металлической связкой, как правило, кобальтом.

Твердые сплавы изготавливают методом порошковой металлургии. Порошки карбидов смешивают с порошком связки, прессуют эту смесь в изделия необходимой формы и подвергают спеканию (в защитной атмосфере или в вакууме) при 1400... 1550 °С. При спекании связка плавится и растворяет часть карбидов, что позволяет получать плотный материал (пористость не более 2%), состоящий на 80...95% из карбидных частиц, соединенных связкой. Увеличение содержания связки вызывает снижение твердости, но повышение вязкости.

Твердые сплавы обладают высокой твердостью 80...92 HRA (73...76 HRC), износо- и теплостойкостью до 800... 1000 °С, модулем упругости до  $6,8 \cdot 10^5$  МПа, пределом прочности на сжатие до 6000 МПа. Их недостатком является высокая хрупкость и сложность изготовления фасонных изделий.

Твердые сплавы производят в виде пластин, которыми оснащаются режущие инструменты (резцы, сверла, фрезы и др.), а также детали машин, приборов измерительного инструмента.

Свойства твердых сплавов и, следовательно, области их применения зависят от состава и зернистости карбидной фазы (WC, TiC, TaC), а также от соотношения карбидной и связывающей фаз. Регулированием этих факторов можно в определенных пределах менять свойства сплавов.

**Металлокерамические твердые сплавы** (ГОСТ 3882—74) подразделяют на три группы:

1. вольфрамовую,
2. титановольфрамовую,
3. титанотанталовольфрамовую.

Вольфрамовые твердые сплавы (например, ВК3, ВК3М, ВК6, ВК8, ВК8В и др.) применяют при обработке хрупких материалов: чугуна, бронзы, фарфора, стекла. Сплавом ВК6М оснащают режущий инструмент для чистовой и получистовой обработки отбеленных чугунов, жаропрочных сталей, пластмасс. Сплавом ВК8В оснащают инструмент для бурения, волочения, чернового точения жаропрочных и нержавеющей сталей. Буква «В» в конце марки указывает, что сплав крупнозернистый, буква М — мелкозернистый.

Мелкозернистые и крупнозернистые вольфрамовые высококобальтовые твердые сплавы ВК20, ВК25, ВК30 и новые твердые сплавы ВК15В, ВК20В и ВК25В, обладающие высокой прочностью и ударной вязкостью, применяют для изготовления твердосплавных штампов, работающих в условиях больших ударных нагрузок. Стойкость твердосплавных штампов по сравнению со стальными возрастает в 30—50 раз, чем обеспечивает большой экономический эффект.

Титановольфрамовые твердые сплавы (Т5К10, Т15К6, Т30К4 и др.) предназначены для обработки вязких материалов: стали, латуни. Сплавом Т5К10, например, оснащают режущий инструмент для чернового точения, а также чернового и чистового строгания сталей по корке и окалине (включая стальные тьюковки, штампованные заготовки и отливки). Титанотанталовольфрамовые твердые сплавы ТТ7К12 и ТТ10К8Б используют для черновой обработки стальных поковок. Эти сплавы имеют более высокую вязкость, износостойкость и прочность ( $\sigma_B$  — 1550 МПа), чем твердые титановольфрамовые и вольфрамовые сплавы.

Маркировка вольфрамовых твердых сплавов означает, например, для сплава ВК8, что в нем содержится примерно 92% карбидов вольфрама и 8% кобальта. В титановольфрамовом сплаве Т30К4 содержится примерно 30% карбидов титана, 4% кобальта и остальное — карбиды вольфрама (66%). В титанотанталовольфрамовом сплаве ТТ7К12 сумма содержания карбидов тантала и карбидов титана составляет примерно 7%, кобальта 12%, остальное — карбиды вольфрама (81%). Аналогично расшифровываются и остальные марки твердых сплавов. Пластифицированные твердые сплавы применяют для изготовления сложных по форме инструментов (сверл, зенкеров, разверток и т. п.), а также инструментов небольших размеров, которые трудно оснастить пластинками из твердого сплава. Пластифицированным твердым сплавом называют спрессованный порошок, погруженный в кипящий парафин при температуре 400° С и составляющий с ним после остывания однородную массу. Брикетты из пластифицированного твердого сплава легко поддаются обработке резанием, прессованию и выдавливанию через фасонные фильеры. Изготовленный одним из этих методов инструмент подвергают спеканию в специальных печах при температуре 1300°С. После

спекания инструмент, обладающий необходимой твердостью, подвергают чистовой обработке и затачиванию. Режущий инструмент, изготовленный из пластифицированного твердого сплава, обеспечивает более высокое качество обработанных поверхностей изделия, по сравнению с инструментом, оснащенный пластинками твердого сплава.

### 1.2.4 Минералокерамические инструментальные материалы

Современные твердые сплавы отличаются высокими режущими свойствами благодаря тому, что в их состав входят дорогие и дефицитные металлы — вольфрам, титан, кобальт. Большое значение имеет создание инструментальных материалов, которые, обладая высокими теплостойкостью и износостойкостью, не содержали бы таких дорогих элементов.

Минералокерамика, используемая для оснащения режущих инструментов, состоит в основном (более 99%) из окиси алюминия  $Al_2O_3$  и получается путем прессования и последующего спекания. Исходным сырьем для изготовления минералокерамики служит технический глинозем; этот материал не содержит никаких редких и дефицитных металлов и получается при производстве алюминия.

Глинозем прокаливают при температуре  $1\ 500—1\ 550^\circ$ , в результате чего образуется высокопрочный абразивный материал — корунд. Далее корунд измельчают до тех пор, пока около 80% частиц получат размеры не более 1 мк, а остальные частицы — не более 2 мк. Средний размер зерен корунда после измельчения —  $0,5—0,75$  ж/с. Чтобы после спекания минералокерамика имела достаточную плотность и мелкозернистость, к измельченному порошку окиси алюминия добавляют  $0,5—1,0\%$  окиси магния  $MgO$ . Окись магния препятствует росту кристаллов корунда во время спекания и является хорошим связывающим средством.

Минералокерамические пластинки присоединяются к державкам инструмента различными способами: механическим путем, приклеиванием специальными клеями, припаиванием. Обычные припои, применяемые для напайки твердосплавных пластинок, в данном случае непригодны, так как не смачивают поверхность минералокерамики и не обеспечивают ее прочного соединения с металлом. Поэтому приходится использовать специальные припои, или производить предварительную металлизацию минералокерамических пластинок в среде вакуума.

Наиболее целесообразным и распространенным является механическое крепление минералокерамических пластинок. К припаиванию или приклеиванию следует прибегать лишь тогда, когда это обуславливается особенностями конструкции инструмента, например, для расточных резцов, некоторых многолезвийных инструментов и т. д.

Наибольшее распространение получила минералокерамика марки ЦМ332 (микролит), выпускаемая Московским комбинатом твердых сплавов.

минералокерамика ЦМ332 обладает очень высокой твердостью (примерно такой же, как наиболее износостойкие твердые сплавы) и исключительной теплостойкостью — до  $1\ 200^\circ$ .

Благодаря указанным особенностям, режущие свойства минералокерамики очень высоки и в этом отношении она превосходит твердые сплавы. Известны примеры, когда при точении стали 45 стойкость пластинок ЦМ332 оказывалась почти в 8 раз выше, чем стойкость пластинок из твердого сплава Т15К6. В отдельных случаях резцами с пластинками ЦМ332 успешно осуществляли кратковременное резание конструкционных сталей со скоростью резания около  $4\ 000$  м/мин; резцы, оснащенные наиболее износостойким твердым сплавом Т60К6, в таких же условиях мгновенно притуплялись при скорости  $2\ 000$  м/мин. При обработке закаленной стали, когда в зоне резания

возникает очень высокая температура, минералокерамика допускает применение скоростей резания в 2,5—3 раза больших, чем твердые сплавы.

При обработке чугунов преимущества минералокерамики перед твердыми сплавами в отношении режущих свойств еще более значительны.

Наряду с высокими режущими свойствами минералокерамика отличается очень низкой прочностью на изгиб — она примерно в 4 раза ниже, чем у твердых сплавов, и в 10 раз ниже, чем у быстрорежущей стали. Поэтому использование минералокерамических пластинок сопровождается частыми случаями их выкрашивания и поломок. Кроме того, минералокерамические пластинки пока еще имеют значительную неоднородность физикомеханических и режущих свойств.

В настоящее время минералокерамика во многих случаях успешно применяется опытными токарями при чистовой и получистовой обработке чугуна, цветных металлов, пластмасс, а также сталей. Имеются примеры удачного применения минералокерамики также и на обдирочных операциях.

Эффективность использования инструментов с минералокерамическими пластинками тем больше, чем относительно меньше сечение срезаемого слоя и больше скорость резания; исключительное значение при этом приобретают высокая жесткость системы станок—инструмент—обрабатываемая деталь, отсутствие резких изменений в величине сил резания, отсутствие вибраций и других причин, которые могут способствовать выкрашиванию и поломкам этого пока еще слишком хрупкого инструментального материала. Поэтому резцы с минералокерамическими пластинками следует применять на быстроходных и мощных станках, обладающих повышенной жесткостью.

Экономическая целесообразность широкого внедрения минералокерамики вместо твердых сплавов очень убедительно подчеркивается таким сравнением: техническая окись алюминия стоит в 125 раз дешевле, чем порошок карбида вольфрама, который является сырьем для изготовления твердых сплавов. Однако для широкого промышленного применения минералокерамики в качестве инструментального материала необходимо существенно (хотя бы в 1,5—2 раза) повысить ее прочность и обеспечить достаточную однородность физикомеханических и режущих свойств минералокерамических пластинок.

### **1.2.5 Абразивные материалы**

**Абразивы** — это материалы, отличающиеся твердостью, превосходящей прочие типы материалов (даже металлы). Это твердые мелкие частицы, применяемые в свободном либо связанном виде (например, в виде какой-либо формы, зафиксированные на поверхности и пр.).

Абразивы предназначены для механической обработки различных материалов, снятия с них тончайшего слоя острыми выступами своих частиц. По сути, абразивными свойствами располагает любая твердая структура по отношению к менее твердой. Однако в промышленных масштабах используются лишь конкретные виды абразивных материалов.

#### **Абразивная обработка материалов**

Из абразивов изготавливаются специальные абразивные инструменты. У них, в отличие от лезвийных (металлических), нет сплошной кромки реза. Данную функцию выполняет цельная зернистая структура, резцом в ней является каждое из зерен. Эти абразивные частицы скреплены друг с другом связующим веществом или же объединены в какое-то



изделие (это может быть круг, камень, шлифовальная шкурка, щетка), совокупно воздействуют на рабочую поверхность своими режущими краями, снимая ими тончайшую стружку (данный слой может составлять всего несколько микрон).

Абразивные материалы востребованы для разных типов обработки:

- шлифование – бывает круглое, плоское, кругами, лентой, а также бывает предварительное и чистовое;
- притирка;
- гидроабразивная обработка;
- ультразвуковая;
- пескоструйная;
- полирование (бывает предварительное, зеркальное);
- хонингование (это отделочная обработка внутренних цилиндрических деталей, например, автомобильных цилиндров);
- суперфиниширование (предполагает минимальный съем материала);
- галтовка (это очистка мелких деталей от окалины, коррозии, заусенцев и пр.);
- прорезка, отрезка;
- заточка.

### **Виды абразивных материалов**

Абразивные материалы отличаются по разным параметрам. Так, они классифицируются по *твердости* (бывают мягкие, твердые, сверхтвердые), *своему химическому составу*, *размеру зерна* (могут быть крупные, средние, тонкие, особо тонкие).

***По своему происхождению выделяют абразивы трех типов.***

1. Природного (или естественного) происхождения. Это песок, гранат, цирконий и пр.
2. Искусственного (или синтетического, производственного) происхождения. Данные материалы изготавливаются специально для абразивной обработки. Наиболее распространенными являются искусственный алмаз, карбид кремния, бора, электрокорунд, кубический нитрид бора.
3. Абразивы из побочных продуктов производства: с/х остатки, шлаки от выплавки металлов (например, никельшлак), от работы электростанционных котельных. Данные материалы доступны, имеют разнообразные размеры частиц, низкую стоимость.

### **Свойства абразивных материалов**

Абразивы имеют ряд важных характеристик, или свойств. Так, важным их параметром является твердость. Ее определяют сопротивлением материала, поверхность которого подвергается шлифованию. Так, самым твердым абразивным материалом по шкале Мооса (она названа в честь немецкого ученого-минеролога) является алмаз (10 баллов), карбид бора имеет соответственно 9,5 балла, корунд, карбид кремния и электрокорунд — 9, кварц — 8, гипс — 2, тальк — 1 балл.

Другие свойства абразивов — это прочность, хрупкость, зернистость (это размер и форма шлифовального зерна). Так, форма зерен может быть изометрической (у них высота, ширина, толщина примерно одинаковы), мечевидной, пластинчатой — этот показатель зависит от природы абразивного материала и степени измельчения изначального зерна.

Абразивная способность данных веществ (то есть их эксплуатационные качества) определяется массой удаляемого при шлифовании слоя материала.

Абразивы имеют свойство самозатачиваемости: они сохраняют работоспособность благодаря образованию новых выступов, режущих кромок у зерен в ходе обработки.

## 1.2.6 Естественные и искусственные /синтетические/ алмазы; 1.2.7 Сверхтвёрдые инструментальные материалы

Из всех абразивных материалов особое место занимают природные и искусственные (синтетические) алмазы. Твердость алмаза значительно превосходит твердость всех применяемых в промышленности инструментальных и абразивных материалов. Алмаз заслуженно называют «королем твердых тел».

Алмаз и технический прогресс неотделимы. Однако до недавних пор применение природных алмазов в промышленности ограничивалось их добычей. В настоящее время, несмотря на успешную разработку богатейших месторождений, добыча алмазов еще не может удовлетворять возрастающую потребность общества.

Поэтому наряду с природными алмазами все большее значение для техники приобретают искусственные (синтетические) алмазы. Синтетические алмазы при изготовлении из них алмазно-абразивного инструмента не только не уступают природным, но имеют перед ними значительные преимущества — они дешевле и обладают большей работоспособностью. Синтетическому алмазу покоряются самые твердые труднообрабатываемые материалы: оптическое и техническое стекло, хрусталь, кварц, твердые сплавы, фарфор, корунд, мрамор, гранит, различная керамика, бетон, огнеупоры и др.

В первую очередь синтетические алмазы получили широкое применение в инструментальном производстве для заточки и доводки твердосплавного металлорежущего инструмента, что повышает его стойкость в 2—3 раза, сокращает расход твердых сплавов в 1,5—2 раза, улучшает параметры шероховатости обрабатываемой поверхности.

Наиболее перспективными являются синтетические сверхтвердые материалы, созданные на базе поликристаллов алмаза (карбонадо, баллас) и кубического нитрида бора (эльбор-Р, композит, гексанит-Р).

Поликристаллы кубического нитрида бора превосходят по теплостойкости алмазы, быстрорежущую сталь, твердый сплав и минералокерамику. Сочетание таких уникальных физико-химических свойств позволяет применять эльбор-Р при обработке закаленных сталей, чугунов и различных труднообрабатываемых материалов.

*Эльбор-Р* применяется для изготовления резцов, зенкеров, фрез, шлифовальных и полировальных кругов и другого инструмента.

В нашей стране получили наибольшее распространение марки синтетических алмазов: **АСО**, **АСР**, **АСВ**.

**АСО** — алмазные зерна обычной прочности. Используют для изготовления кругов на органической связке и применяют для чистовой заточки и доводки режущих инструментов.

**АСР** — алмазные зерна повышенной прочности. Используют для изготовления кругов на органической, металлической и керамической связках и применяют для снятия больших припусков и предварительной заточки инструмента.

**АСВ** — алмазные зерна особо высокой прочности. Используют для изготовления алмазных кругов на металлической связке, работающих в особо тяжелых условиях.

*Алмазно-абразивный инструмент* изготавливается на органической, металлической, керамической, металлогальванической, эластичной (резиновой) и других связках.

Выбирают ее с учетом применяемой марки алмаза, обрабатываемого материала, вида и режима обработки.

Одной из важнейших характеристик алмазно-абразивного инструмента, определяющей его режущую способность, производительность и срок службы, является концентрация алмаза в инструменте. В нашей стране наибольшее распространение получил инструмент с концентрацией алмаза 50, 100 и 150%. За 100%-ную концентрацию принимается содержание алмаза в алмазоносном слое, равное 25% его объема, что составляет 4,4 карата алмаза в 1 см<sup>3</sup> (карат равен 0,2 г).

Из синтетических алмазов изготавливаются резцы, шлифовальные круги, бруски, надфили, головки, шлифовальные шкурки и пасты.