**Лекция 7. Инструментальные материалы**

**ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СТАЛИ И СПЛАВЫ**

По характеру работы инструменты можно разде­лить на несколько групп: 1) измерительный; 2) режу­щий; 3) штампы.

Условия работы инструментов различных групп раз­личаются существенно, поэтому и изготавливают их из различных сталей с нужными свойствами.

Стали для рехущих инструментов

Выбор инструментальной стали производят в зави­симости от свойств обрабатываемого материала, усло­вий резания, требований к точности размеров и каче­ству обрабатываемой поверхности, экономических сооб­ражений и т.д.

Инструментальная сталь должна обладать высокой твердостью, износостойкостью, обеспечивающей сохра­нение режущей кромки инструмента, достаточной проч­ностью и вязкостью (для инструментов ударного дей­ствия).

Режущие кромки инструмента могут нагревать­ся до 500—900° С. В этих случаях основным свойством инструментальных материалов является теплостойкость (красностойкость), т. е. способность сохранять высо­кую твердость и режущую способность при продолжи­тельном нагреве.

Этот комплекс свойств обеспечивается выбором ста­ли и оптимальным режимом термической обработки. При этом важное значение имеет прокаливаемость ста­ли. В зависимости от сечения инструмента его изготав­ливают из сталей небольшой, повышенной прокалива­емое™ или из быстрорежущих сталей.

**9.1. Углеродистые инструментальные стали**

Эти стали по ГОСТ 1435—74 содержат 0,65-\*-1,35% С.

Они маркируются У7, У7А ... У13, У13А. Буква У обозначает что сталь углеродистая, число показывает содержание углерода в десятых долях процента (при­ложение табл. 9).

Углеродистые инструментальные стали обладают высокой твердостью, прочностью, хорошо шлифуются при изготовлении инструмента, дешевы и недефицитны.

Стали У7, У7А, У8, У8А, содержащие 0,7—0,8% С, применяют для инструментов по дереву и инструментов ударного действия, когда требуется повышенная вяз­кость, — пуансонов, кернов, зубил, кузнечных штампов и т.д.

Стали У9—У13 (У9А—У13А), содержащие 0,9— 1,3% С, обладают более высокой твердостью и износо­стойкостью. Из этих сталей изготавливают сверла, мет­чики, развертки, фрезы, плашки и др. Из стали У13, имеющей максимальную твердость {HRC 62—64) и из­носоустойчивость, изготавливают напильники, гравер­ный инструмент и т. п.

Для снижения твердости и создания благоприятной структуры все стали до изготовления инструмента под­вергают предварительной термической обработке — от­жигу. Поскольку наличие сетки вторичного цементита ухудшает качество и срок службы инструмента, заэв-тектоидные стали подвергают сфероидизирующему от­жигу, нагревая стали У9 и У10 до 740—750° С, а У11 и У12 до 750—780° С. В результате такого отжига пла­стины Цц делятся (на этот процесс положительно вли­яет наличие субграниц и скоплений дислокаций). Регу­лируя скорость охлаждения можно получать глобули Цп различного размера.

Окончательная термическая обработка — закалка и отпуск, Температура закалки доэвтектоидных сталей Ас3 + 30°С, заэвтектоидных сталей Ас1 +(40….50°С).

Структура закаленной стали — мелкоигольчатый мартенсит или мелкоигольчатый мартенсит с мелкими карбидами. Температуру отпуска выбирают в зависи­мости от твердости, необходимой для данного вида ин­струмента.

Для инструментов ударного действия (У7, -У8), ког­да требуется повышенная вязкость, применяют отпуск при температурах 280—300° С (HRC 56—58). Для на­пильников, метчиков, плашек и т.п. (стали У10—У13) производят низкотемпературный отпуск при 150—200° С, что обеспечивает инструменту максимальную твердость (HRC ≈ 62—64).

Основные недостатки углеродистых сталей — их не­большая прокаливаемость, примерно до 5—10 мм, и низкая теплостойкость. При нагреве выше 200° С их твердость резко снижается. Инструменты из этих ста­лей могут работать лишь при небольших скоростях ре­зания.

**9.2 Легированные инструментальные стали**

Эти стали по ГОСТ 5950—73 обычно содержат 0,9— 1,4% С. Суммарное содержание легирующих элементов (Cr, W, Mn, Si, V и др.) не превышает 5%. Состав и свойства наиболее распространенных сталей указаны в приложении, табл. 10.

Легирующие элементы, увеличивая устойчивость аустенита, уменьшают критическую скорость закалки и увеличивают прокаливаемость (инструменты из сталей повышенной прокаливаемости, как правило, прокалива­ются насквозь). Инструменты закаливают в масле, что уменьшает возможность коробления и образования за­калочных трещин.

Термическая обработка таких инструментов заклю­чается в закалке с 800—860° С в масло или ступенчатой закалке (температура закалки определяется составом). Отпуск проводят низкотемпературный — при 150— 200° С. Твердость после термической обработки состав­ляет HRC 61—66. Иногда для увеличения вязкости по­вышают температуру отпуска до 300° С, но при этом твердость понижается до HR С 55—60.

Малолегированные стали, содержащие 1—1,5% ле­гирующих элементов (ХО5, 7ХФ, 8ХФ), относятся к сталям небольшой прокаливаемости.

Применяемые для режущего инструмента стали 9ХС, ХВСГ, ХВГ и др. по сравнению с углеродистыми сталями имеют более высокую прокаливаемость, повы­шенную твердость и износоустойчивость. Повышенное содержание кремния (9ХС, ХВСГ) способствует увеличению прокаливаемое™ (критичес­кий диаметр для стали 9ХС равен 40 мм, а для стали ХВСГ 100 мм при закалке в масле) и устойчивости мар­тенсита при отпуске.

Повышенное содержание марганца (ХВГ, 9ХВСГ) способствует увеличению количества остаточного аусте-нита, что уменьшает деформацию инструмента при его закалке. Поэтому эти стали часто применяют для изго­товления инструмента, имеющего большую длину при относительно небольшом диаметре, например протяжек. Легирование хромом увеличивает прокаливаемость и твердость после закалки.

Из сталей этой группы изготавливают различные -инструменты — от ударного до режущего. Теплостой­кость инструментов, как правило, не превышает 300° С, поэтому эти стали не используют для обработки с боль­шими скоростями резания.

Так называемая «алмазная» сталь ХВ5 (5% W) бла­годаря присутствию вольфрама в термически обрабо­танном состоянии имеет избыточную мелкодисперсную карбидную фазу и твердость HRC 65—67. Из этой ста­ли изготавливают инструмент, сохраняющий длитель­ное время острые кромки и высокую размерную точ­ность (развертки, фасонные резцы, граверный инстру­мент и т.п.).

К сталям повышенной прокаливаемости относятся и стали с кар­бидным упрочнением, например 6Х6ВЗМФС и 8Х4В2С2МФ. После термической обработки (закалка с 1050—1080° С, отпуск — старе­ние при 520—540° С) инструмент из этих сталей за счет выделения дисперсных карбидов М23Сб и М7С3 приобретает высокую твердость HRC 61—63, имея повышенную вязкость и прочность. Кроме того, он обладает высоким сопротивлением пластической деформации.

В последние годы для инструментов используются также стали с интерметаллидным упрочнением. Интерметаллиды (№зТЛ, NiTi, FeMo2 и др.) оказывают даже более сильное упрочняющее влияние, чем карбиды. Это объясняется очень высокой дисперсностью обра-

 о

зующихся частиц (50—200 А), которые коагулируют при <«650— 675° С. Отсюда — высокая теплостойкость инструмента из таких ста­лей. Интерметаллидные фазы присутствуют в теплостойких сталях с повышенным содержанием Со и W (при низком содержании углеро­да), а также в мартенситностареющих сталях (см. гл. 9), которые также теперь используются для изготовления инструмента, например сталь Н10Х11М2Т2 (ЭП 853), которая после термической обработки приобретает твердость HRC 55—58, сохраняющуюся до температур 350—400° С. Мартенситностареющие стали рационально применять для медицинского инструмента небольшого сечения с очень тон­кой режущей кромкой. Эти стали, как правило, коррозионностойки, а мелкодисперсные выделения упрочняющей фазы исключают раз­рушение тонкого (<0,05—0,1 мм) лезвия инструмента.

**9.3. Быстрорежущие стали**

Быстрорежущие стали получили такое название за свои свойства. Вследствие высокой теплостойкости (550—650° С) инструменты могут работать со скоростя­ми резания, в три-четыре раза большими, чем инстру­менты из углеродистых и легированных сталей.

Быстрорежущие стали (ГОСТ 19 265—73) содержат 0,7—1,5% С, до 18% W, являющегося основным легиру­ющим элементом, до 4,5% Сг, до 5% Мо, до 10% Со. Наиболее распространенные марки быстрорежущих сталей приведены в приложении, табл. 10. В обозначе­нии марок стоит буква Р от слова «рапид» — скорость, цифры за этой буквой показывают среднее содержание вольфрама (Р18, Р9 и т.д.).

Высокая теплостойкость быстрорежущей стали объ­ясняется следующими ее особенностями. При нагреве углеродистой закаленной стали происходит выделение из мартенсита дисперсных частиц карбидов (FexC), ко­торые уже при 300—400° С коагулируют. Твердость по­нижается. Для сохранения твердости при нагреве (теп­лостойкости) сталь необходимо легировать такими эле­ментами, карбиды которых образуются и коагулируют при более высоких температурах. Такими элементами являются вольфрам, хром и др.

Добавление ванадия повышает износостойкость ин­струмента, но ухудшает шлифуемость. Кобальт повы­шает теплостойкость до 650° С и вторичную твердость до HRC 67—70. Наиболее высокую теплостойкость име­ют стали Р14Ф4, Р10К5Ф5 и Р8М4К8 (до 640—650°С). По структуре в равновесном состоянии эти стали от­носятся к ледебуритному классу. Отливки из быстроре­жущей стали подвергают ковке, а затем отжигу, нагре­вая до 860—900° С. После отжига структура быстроре­жущей стали состоит из сорбита, куда входят очень мелкие эвтектоидные карбиды, мелких вторичных кар­бидов, выделившихся при охлаждении из аустенита, и более крупных обособленных первичных карбидов, вхо-

дящих в состав эвтектики. Суммарное количество карбидов достигает 30-35%. После окончательной терми­ческой обработки быстрорежущая сталь приобретает теплостойкость. Чем выше температура закалки, тем большее количество легирующих элементов растворяет­ся в аустените, а следовательно, тем более легирован­ным получается мартенсит, который обладает большей теплостойкостью. ' При нагреве до 1250—1280° С в аустените стали Р18 содержится около 0,3% С, ~ 4%Cr, ~1%V и 7-%W\*. Инструмент из стали Р18 подвергают закалке с 12800 С . Нагрев под закалку до более высоких темпе­ратур приводит к оплавлению режущих кромок инстру­мента и появлению карбидной эвтектики. Закалку про­водят в масле. Температура закалки из стали Р9 составляет 124U0 C, причем в этом случае требуется более точное соблюдение режима.

Инструмент под закалку нагревают обычно в соля­ных ваннах, что улучшает равномерность прогрева и уменьшает возможность обезуглероживания поверхно­сти. Вследствие малой теплопроводности быстрорежу­щей стали нагрев осуществляется ступенчато- инструмент в начале подогревают в первой ванне до 500— 6000 С, а затем переносят в ванну с температурой 800° С и после этого в третьей ванне нагревают до 1280°С

Микроструктура закаленной быстрорежущей стали состоит из мартенсита, остаточного аустенита (до 30%) и большого числа рассеянных зернышек первичных карбидов. Количество остаточного аустенита и положе­ние точек Мн и Мк также зависят от температуры за­калки. Твердость закаленной быстрорежущей стали до­стигает HRC 60—62.

Остаточный аустенит ухудшает режущие свойства поэтому закаленный инструмент обязательно подверга­ют отпуску Установлено, что при нагреве до темпера­тур ниже 560 С никаких существенных изменений не происходит. Если же нагревать при отпуске до 560иС то при последующем охлаждении часть остаточного аустенита превращается в мартенсит. После трехкратного отпуска при 560° С с выдержкой в течение часа количество остаточного аустенита уменьшается до 2— 3%, твердость увеличивается до HRC 64—65.

В настоящее время при термической обработке бы­строрежущей стали широко применяют обработку хо­лодом. Закаленную сталь охлаждают до (—80)…(—100)°С, т.е. до температур ниже точки Мк этой стали. Затем для снятия внутренних напряжений сталь
подвергают однократно отпуску (560° С, 1 ч). Режимы термической обработки инструмента

из быстрорежущей стали Р18 приведены на рис. 112, а, б.



Рис 112 Схемы режимов термической обработки инструментов из

быстроре­жущей стали без обработки холодом (а) и с обработкой холодом (С)

Иногда для повышения износостойкости инструмента применяют низкотемпературное цианирование при 520—560° С в течение 10—15 мин. На поверхности об­разуется слой, насыщенный азотом и углеродом, тол­щиной 0,03—0,06 мм. Для уменьшения прилипания

стружки и повышения коррозионной стойкости прово­дят обработку паром (при температуре отпуска). На поверхности образуется тонкая пленка предотвращаю­щая

прилипание стружки. Ввиду высокой стоимости и дефицитности вольфра­ма из быстрорежущей стали изготавливают только ра­бочую часть инструмента, которую прикрепляют к дер­жавке из обычной углеродистой инструментальной ста­ли.

**9.4. Инструментальные твердые сплавы**

Металлокерамические сплавы значительно превосхо­дят быстрорежущие и другие инструментальные стали по твердости (HRC 70—80 см, рис. 113), износостойко­сти, а также по теплопрочности (900—1000°С), но ус тупают сталям по проч- ности на изгиб и являют- хрупкими. Структура ;плавов состоит из частиц очень твердых и ту- А гоплавких карбидов WC, ПС, ТаС, равномерно эаспределенных в мягкой эвтектике на основе ко- бальта. С увеличением удержания кобальта :нижаются твердость и износостойкость, но по­вышается прочность сплавов. В зависимости от на­значения и условий ра­боты инструментов при- ; меняют однокарбидные .сплавы системы - WG-—

Со(ВКЗ, ВК6 и др.); двухкарбидные сплавы WC— TiC—Со (Т30К4, Т15К6 и др.); трехкарбидные сплавы WC—TiC—ТаС—Со (ТТ7К12 и др.) (см. при­ложение, табл. 11). В обозначении марок сплавов бук­ва В означает WC, Т с последующим числом — и/о TiC; ТТ с цифрой—%TiC+TaC; К с цифрами—% Со. Со­держание WC не указывают: %WC=100—% Со—% TiC—% (TiC+TaC).



По сравнению со сплавами типа ВК. двухкарбидные сплавы имеют повышенную вязкость, трехкарбидные — повышенную износоустойчивость, вязкость, хорошо со­противляются вибрациям.

Металлокерамические сплавы получают методами порошковой металлургии. Карбиды и кобальт разма­лывают до порошкообразного состояния, составляют смесь, тщательно перемешивают, прессуют в прессфор-мах и спекают при 1400—1500° С. Полученные пластин­ки шлифуют и припаивают к

Рис. 113. Зависимость твер- дости различных инструмен- тальных материалов от темпе- ратуры:

1.- углеродистая сталь;

2- быстрорежущая сталь;

3-твердый сплав

 державкам инструментов или крепят механическим способом.

*Материалы особо высокой твердости*

Кубический нитрид бора (боразон, эльбор) — новый и перспек­тивный очень твердый материал (~#У 8500—9000). Его использу­ют для резания и шлифования сталей высокой твердости, например стали ШХ15 с твердостью HRC 62—63.

Гексанит — твердый сплав на основе нитрида бора, использует­ся для обработки закаленных и твердых сплавов. Резец, изготовлен­ный из гексанита, повышает производительность труда почти в десять раз.

Выбор и применение инструментальных сталей и сплавов для режущего инструмента рассмотрены в гл. 1 раздела VI.

**9.5. Стали для измерительных инструментов и штамповые стали**

Измерительные инструменты должны сохранять свою форму и размеры в течение продолжительного времени. Поэтому их следует изготавливать из сталей, имеющих высокую твердость и износостойкость (после соответствующей термической обработки). В этих ста­лях с течением времени не должны совершаться струк­турные превращения, вызывающие изменение разме­ров инструмента. Такие стали должны иметь минималь­ный коэффициент линейного расширения.

С учетом этих требований выбирают соответствующие стали и назначают определенный режим термической обработки. Хорошее сопротивление износу обеспечивается высокой твердостью поверхности (HRC 62— -< 65).

Малым коэффициентом теплового расширения обла-дают стали с мартенситной структурой. Для измери­тельных инструментов чаще всего используют высоко- углеродистые стали У8—У12, X, Х9, ХГ, Х12Ф1, це­ментуемые (сталь 15, сталь 20) и азотируемые (38ХМЮА).

Структура высокоуглеродистых сталей после обыч­ной термической обработки не является стабильной и всегда содержит какое-то количество остаточного аустенита. Тетрагональность мартенсита со временем уменьшается. Поэтому после закалки применяют стабилизирующий низкотемпературный отпуск — старение (нагрев до 120—170°С с выдержкой 10—30 ч). Иногда после закалки инструмент подвергают обработке холо­дом, а затем отпуску — старению.

*Штамповые стали*

Инструмент, применяемый для обработки металлов давлением (штампы, пуансоны, матрицы, валики и т.д.), изготавливают из штамповых сталей. Так как ме­же в горячем состояниях (до 900—1200°С), то различа­ют стали для штампов холодного деформирования и стали для штампов горячего деформирования. Химиче­ский состав, механические свойства и назначениештам» повых сталей приведены в ГОСТ 5950—73.

Стали для штампов холодного деформирования. Стали для изготовления инструментов этой группы дол­жны обладать высокой износостойкостью (высокой по­верхностной твердостью), прочностью, вязкостью (что­бы воспринимать ударные нагрузки), сопротивлением деформации. Для изготовления штампов небольших размеров (диаметром до 25 мм) используют углеродистую ин­струментальную сталь марок У10, У11, У12. После за­калки и низкого отпуска инструмент из этих сталей бу­дет обладать нужным комплексом свойств. Широко используют легированные стали марок X, Х9, ХГ, 9ХС, Х12М, Х6ВФ (фильеры, плашки и др.). Для повышения износостойкости инструмента после его термической обработки применяют иногда циани­рование или хромирование рабочей поверхности. Для штампов, работающих в условиях износа и давления, применяют легированные стали глубокой прокаливае-мости, например Х12, Х12Ф, ХГЗСВ и т.д.

Если штамповый инструмент испытывает ударные нагрузки, то для его изготовления используют стали, обладающие большой вязкостью (стали 4ХС4, 4ХВС, 5ХНМ, 5ХГМ и т. д.). Это достигается уменьшени­ем содержания углерода, введением легирующих эле­ментов, увеличивающих прокаливаемость, и соответст­вующей термической обработкой — закалка с высоким отпуском (480—580°С). Окончательная твердость HRC

38—45.

Стали для штампов горячего деформирования. Штампы для горячего деформирования работают в бо­лее сложных условиях. Поэтому, кроме перечисленных свойств, стали для таких штампов должны обладать жаропрочностью, теплостойкостью, термостойкостью1. Они должны быть также минимально чувствительными к отпускной хрупкости, так как в процессе эксплуата­ции может неоднократно происходить нагрев штампов до высоких температур. Кроме того, эти стали должны обладать и хорошей теплопроводностью, чтобы тепло быстро отводилось от рабочей поверхности и т. д.

Если штампы испытывают большие ударные нагруз­ки (например, ковочные штампы), то для их изготовле­ния используют стали, содержащие 0,5—0,6% С, леги­рованные элементами, увеличивающими прокаливае­мость и вязкость (хром, никель, марганец). Для умень­шения склонности к отпускной хрупкости II рода вводят молибден или вольфрам. Это стали 5ХНМ, 5ХНВ, 5ХНТ, 5ХНСВ и т.д.

 Закалку осуществляют с 760—820° С, охлаждающая среда зависит от размеров штампов.Температура от­пуска составляет 460—580° С, твердость HRC 35—45. Инструмент для горячей протяжки, высадки и прес­сования нагревается в работе до более высоких темпе-

ратур. Для такого инструмента используют стали с повышенным содержанием вольфрама, обладающие термостойкостью до 650—670° С. Это стали марок ЗХ2Э8 4Х5В2ФС, 4Х4В4ФМ, 6ХВ2С и др.

В настоящее время для изготовления деталей используют также метод литья под давлением. Таким образом, делают детали как из металлов, так и из пластмасс.

Используемые для этой цели прессформы подвергаются износу, коррозии, а также образованию на ра­бочей поверхности сетки разгарных трещин. В зависимости от условий работы для изготовления прессформ применяют различные марки сталей.

Для литья металлов с высокими температурами плавления прессформы изготавливают из сталей ЗХ2В8, 4ХВ2С. Для литья металлов с низкой температурой плавле­ния (например, цинк и его сплавы) прессформы делают из сталей ЗОХГС, 40Х и даже сталей 45 и 50.

Для штампов и форм литья под давлением алюми- ниевых и магниевых сплавов, особенно для штампов сложных по конфигурации, небольших по размерам и работающих с большими ударными нагрузками, при- меняют мартенситностареющие стали.

Литье и прессование пластмасс связаны с износом и коррозией. Поскольку в этом случае температуры со­ставляют порядка 150—200° С, то для изготовления прессформ можно использовать как легированные, так и углеродистые улучшаемые или цементуемые стали. Применяют также и азотируемые стали. Иногда рабочую поверхность подвергают хромированию диффузи­онной металлизацией. Для коррозионностойкого ин­струмента используют стали 9X18, Х18МФ, Х14М, 30X13, 40X13 (см. гл. 11).