**Инструментальные материалы**

**Инструментальные стали**применяются для изготовления различного инструмента. Они классифицируются по назначению, по свойствам, по химическому составу.

По назначению стали подразделяются на стали для режущих инструментов, стали для измерительных инструментов и стали для штампов.

**Стали для режущих инструментов.**Инструментальная сталь должна обладать высокой твердостью, износостойкостью, обеспечивающей сохранение режущей кромки, достаточной прочностью и вязкостью (для инструментов ударного действия), теплостойкостью (красностойкостью). Красностойкость – это способность инструмента сохранять высокую твердость и режущие свойства при длительном нагреве. Этот комплекс свойств обеспечивается выбором стали и оптимальным режимом термообработки. При этом важное значение имеет прокаливаемость и закаливаемость стали.

По свойствам инструментальные стали квалифицируются на стали небольшой прокаливаемости, повышенной прокаливаемости и быстрорежущие стали.

По химическому составу различают углеродистые и легированные стали.

**Углеродистые инструментальные стали**содержат 0,7…1,3 %С и маркируются У7, У7А…У13, У13А. Структура сталей У7 (Ф+П), У8 (П), У9-У13 (П+ЦІІ). Углеродистые стали обладают высокой твердостью, прочностью, дешевы и недефицитны и хорошо обрабатываются.

Из сталей У7, У7А, У8, У8А изготавливают деревообрабатывающий инструмент, слесарный и кузнечный (кернеры, зубила, клейма) и другие изделия, подвергающиеся ударным нагрузкам. Стали марок У9-У11А идут на изготовление инструмента, не подвергающегося ударам. Из них делают сверла, фрезы, метчики, медицинский инструмент. Стали марок У12-У13А применяют для изготовления инструментов высокой твердости и износостойкости – напильники, резцы, волочильный инструмент и др.

Предварительная обработка этих сталей (до изготовления инструмента) – отжиг на зернистый перлит.

Окончательная термообработка – закалка в воде и низкий отпуск. После этого стали приобретают структуру – мартенсит с включениями цементита. Твердость 56-64HRC. Для углеродистых сталей характерны низкая прокаливаемость (10-12 мм) и низкая теплостойкость (до 200°С).

**Легированные инструментальные стали** содержат 0,9…1,4%С и легирующие карбидообразующие элементы (Cr, W, Mn, V и др.), суммарное количество которых не превышает 5%. Задача легирования – повышение твердости, прокаливаемости и теплостойкости до 300°С. Термообработка этих сталей – закалка в масле и отпуск при температуре 150…200°С. При этом обычно достигается сквозная прокаливаемость. Твердость сталей после термообработки 62…64НRC. Из них делаютметчики, пилы, граверный инструмент, напильники, крупные плашки, протяжки, зенкеры и т.д.

**Теплостойкие (быстрорежущие)** **стали** предназначены для работы при высоких скоростях резания.



Рис. 5.1. Схема режимов термической обработки инструментов из быстрорежущей стали без обработки холодом (а) и с обработкой холодом (б)

Главное их достоинство – высокая теплостойкость (до 650°С). Это достигается за счет большого количества легирующих элементов – вольфрама, молибдена, ванадия, кобальта.

Быстрорежущие стали содержат около 1%С до 18%W, до 4,5%Cr, до 5%Mo, до 10%Со. В обозначении марок стоит буква Р – «рапид – скорость», число после которой показывает в процентах среднее содержание вольфрама– основного легирующего компонента. Если содержание других легирующих элементов не превышает 1%, то они не указываются, если больше, то указываются как обычно. Содержание хрома во всех быстрорежущих сталях приблизительно 4%. Например, Р10М4Ф3К10 – 0,9%С, 10%W, 4%Мо, 3%V, 10%Со и обязательные 4%Cr.

Окончательно формирует теплостойкость стали ее термообработка – закалка и трехкратный отпуск. Закалку проводят с высоких (1240…1290°С) температур, обеспечивающих растворение карбидов в аустените. (Fe2WC, VC, WC). Инструмент нагревают в соляных ваннах ступенчато (малая теплопроводность – возможно растрескивание), и для избежания обезуглероживания поверхности (рис. 5.1).

Закаленная сталь имеет структуру М+К+Аости твердость HRC60…62. Остаточный аустенит Аост ухудшает режущие свойства, поэтому закаленный инструмент подвергают отпуску (3-х кратному) при температуре 560°С с выдержкой 1 час. После термообработки сталь имеет мартенситную структуру с карбидными включениями и твердостью НRС64…65.

В настоящее время применяют обработку холодом закаленной стали –(80-100)°С до точки окончания мартенситного превращения Мк и затем однократный отпуск при 560°С в течение 1 часа. Для повышения износостойкости инструмента применяют азотирование, цианирование, а также напыление карбидов.

Стали применяют для изготовления протяжек, резцов, зенкеров, метчиков, фрез, сверл и т.д.

**Стали для измерительного инструмента.**Эти сталикроме высокой твердости (HRC63…64) и износостойкости должны сохранять постоянство линейных размеров и формы.

Для измерительных инструментов чаще всего используют высокоуглеродистые стали У8-У12, Х, Х9, Х12Ф1, цементуемые – сталь 15, сталь 20 и азотируемые – 38ХМ10А.

Закалку проводят с возможно низких температур (в зависимости от марки стали) в масле, иногда проводят обработку холодом с последующим, стабилизирующим низкотемпературным (120…170°С) отпуском с выдержкой 10…30 часов. Для инструмента высокого класса точности проводится многократная (2-6 раз) обработка холодом и отпуск (120…130°С).

**Штамповые стали.**Инструмент, применяемый для обработки металлов давлением (штампы, пуансоны, матрицы, валики и т.д.), изготавливают из штамповых сталей. Различают стали для штампов холодного деформирования и стали для штампов горячего деформирования.

Стали для штампов холодного деформирования должны обладать высокой износостойкостью, прочностью, вязкостью и сопротивлением деформации.

Для небольших штампов (до 25 мм) используют углеродистую инструментальную сталь У10,У11,У12 после закалки и низкого отпуска. Широко используют легированные стали марок Х, Х9, ХГ, Х12М, Х6ВФ. Для повышения износостойкости инструмента после термообработки применяют цианирование или хромирование рабочей поверхности.

Для штампов с ударными нагрузками используют стали с большой вязкостью: 4ХС4, 4ХВС, 5ХМН, 5ХГМ.

Стали для штампов горячего деформирования кроме вышеперечисленных свойств должны обладать жаропрочностью, теплостойкостью, термостойкостью.

Для штампов, испытывающих большие ударные нагрузки (ковочные штампы), используют стали с 0,5-0,6%С и легирующими элементами, увеличивающими прокаливаемость и вязкость: 5ХНМ, 5ХНВ, 5ХНТ и др.

Для инструментов, работающих при более высоких температурах, используют стали с повышенным содержанием вольфрама: 3Х2В8, 4Х5В2ФС, 4Х4В4ФМ.

**Инструментальные твердые сплавы.**Металлокерамические сплавы значительно превосходят быстрорежущие и другие инструментальные стали по твердости (70…80HRC), износостойкости и теплостойкости (красностойкость до 800…1000°C), но уступают сталям по прочности на изгиб и являются хрупкими. Структура твердых сплавов состоит из частиц очень твёрдых и тугоплавких карбидов WC, TiC, TaC, равномерно распределенных в мягкой, вязкой и прочной эвтектике на основе кобальта. Выпускают:

* однокарбидные (вольфрамовые) сплавы системы WC – Co: ВК3, ВК6, ВК8, ВК15 и другие;
* двухкарбидные (титановольфрамовые) сплавы системы WC – TiC – Co: Т5К10, Т15К6, Т30К4 и другие;
* трёхкарбидные (танталотитановольфрамовые) сплавы системы WC – TiC – TaC – Co: ТТ7К12, ТТ10К8.

В обозначении: В – %WC, Т с числом – % TiC, ТТ с числом – % (TiC + TaC), К с числом – %Co. Содержание WC не указывают, а находят по формуле:

%WC = 100 – % Co – % TiC [– % (TiC+TaC)].

Металлокерамические сплавы получают методом порошковой металлургии. Они изготовляются в виде пластин, которые припаиваются к державке, изготовленной из углеродистой стали.

**Минералокерамические материалы** имеют твёрдость HRA91…93 и красностойкость 1000…1200°C, но хрупки. Наиболее используемы микролит и термокорунд. Микролит (ЦМ – 332) имеет корундовую основу с добавками Mg2O. Зёрна корунда Al2O3размером менее 2 мкм соединены минеральной связкой – синтетическим стеклом. Микролит используется в волочильном производстве и для финишной обработки при точении. Прочность в 10 раз выше, чем Р18. Для улучшения режущих свойств в минералокерамику добавляют W, Mo, Ti, Ni (до 10%).

**Материалы особо высокой твёрдости.**Дефицит и дороговизна вольфрама привела к созданию композиций на основе карбида бора (B4C), обладающих твёрдостью и износостойкостью в несколько раз выше, чем у ВК6.

**Кубический нитрид бора** **КНБ**(боразон, эльбор) – химическое соединение, где 40% бора и 50% азота, имеет твёрдость 8500…9000HV, что близко к алмазу, но красностойкость ~ 1300°C, тогда как у алмаза ~ 800°C. Основной недостаток – хрупкость. Применяется для резания и шлифования сталей высокой твердости.

**Гексанит** – твёрдый сплав на основе нитрида бора. Он используется для обработки закалённых сталей, в результате производительность труда повышается в 10 раз.

**Алмазы** как природные, так и синтетические широко используются в качестве инструментального материала. Алмаз имеет высокую твердость, но его красностойкость невелика – 700-800°С.

Из алмазного порошка изготавливают алмазно-абразивный инструмент – шлифовальные круги, притиры и другие инструменты для обработки особо твердых материалов, а также алмазные круги для заточки твердосплавного инструмента.