

669
K65

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕРМООБРАБОТКА



КЕРЕКЧ
Б. АСПАСЫ

Павлодар

669
К65

Министерство образования и науки Республики Казахстана

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова

Г. Т. Итыбаева, Ж. К. Мусина, А. Ж. Касенов,
С. И. Деревягин, А. И. Денчик

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕРМООБРАБОТКА

Учебное пособие

Павлодар
Кереку
2019

УДК 669.018 + 621.78 (075.8)

ББК 34.316 я 73

К65

**Рекомендовано к изданию Учёным советом Павлодарского
государственного университета имени С. Торайгырова**

Рецензенты:

Т. М. Мендебаев – доктор технических наук, профессор
Казахского национального технического университета
им. К. И. Сатпаева;

И. К. Ибраев – доктор технических наук, академик МАИН,
профессор Инновационного Евразийского университета;

Н. Т. Смайлова – доктор технических наук, академик МАИН,
профессор ПГУ имени С. Торайгырова

**Итыбаева Г. Т., Мусина Ж. К., Касенов А. Ж.,
Деревягин С. И., Денчик А. И.**

К65 Конструкционные материалы и термообработка : учебное пособие /
Г. Т. Итыбаева, Ж. К. Мусина, А. Ж. Касенов, С. И. Деревягин,
А. И. Денчик. – Павлодар : Кереку, 2019. – 225 с.

ISBN 978-601-238-900-5

В учебном пособии рассматриваются конструкционные материалы и их классификация. Изложены основы металлургического и литейного производства, обработка металлов давлением и резанием, получение сварных соединений, основы материаловедения, закономерности формирования структуры и свойств металлических и неметаллических конструкционных материалов. Рассмотрены основы термической и химико-термической обработки.

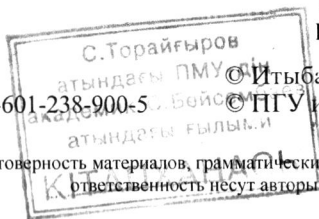
Учебное пособие рекомендовано для обучающихся машиностроительных специальностей вузов.

УДК 669.018 + 621.78 (075.8)

ББК 34. 316 я 73

ISBN 978-601-238-900-5 © Итыбаева Г. Т. и др., 2019
© ПГУ имени С. Торайгырова, 2019

За достоверность материалов, грамматические и орфографические ошибки
ответственность несут авторы и составители



Введение

Развитие человеческого общества во многом определяется открытием и активным использованием материалов различного назначения.

В настоящее время значение разработки новых и эффективного использования имеющихся материалов особенно велико в связи с острой необходимостью перехода от «сырьевого» к преимущественно инновационному пути развития производства.

Очевидно, что с каждым годом роль науки о материалах и, соответственно, дисциплины «Конструкционные материалы и термообработка» будет неизбежно возрастать.

«Конструкционные материалы и термообработка» (КМТ) – учебная дисциплина, предметом которой являются технологические методы получения и обработки деталей машин; строения, свойствах, классификации, маркировке и термической обработке основных конструкционных и инструментальных материалов. Каждый технологический метод реализуется в рамках технологической системы, под которой понимают совокупность материальных элементов (оборудование, инструмент, заготовка, приспособление, рабочий), обеспечивающих достижение поставленной цели.

Конструкционные материалы и термообработка в подготовке специалистов относится к циклу общепрофессиональных дисциплин и входит в учебный план специальности 5В071200 – Машиностроение.

Требования к ключевым компетенциям бакалавра по специальности 5В071200 – Машиностроение:

Знать: основы термической обработки металлов и сплавов; физическую сущность явлений, происходящих в материалах в условиях производства и эксплуатации; их взаимосвязь со свойствами материалов и видами повреждений;

Уметь: правильно выбирать материал, назначить его обработку с целью получения заданной структуры и свойств, обеспечивающих высокую надёжность и долговечность деталей машин;

Освоение дисциплины «Конструкционные материалы и термообработка», содержащей большое количество новых понятий и терминов, а также физических данных о строении и свойствах различных материалов, требует определённых усилий. Данное «Учебное пособие» призвано облегчить решение этой задачи.

1 Конструкционные материалы и их классификация

1.1 Свойства материалов

Конструкционные материалы предназначены для изготовления деталей и конструкций, работающих под механическими нагрузками. Основное требование к конструкционным материалам – не разрушаться и не деформироваться при эксплуатации. Кроме того, материалы должны быть экономичными (недорогими, недефицитными) и технологичными.

В современной технике используются следующие группы конструкционных материалов:

- 1) металлы и их сплавы;
- 2) полимеры (пластмассы);
- 3) керамика;
- 4) стёкла;
- 5) композиционные материалы.

Технические чистые металлы характеризуются низкими прочностными свойствами, поэтому в машиностроении применяют главным образом их сплавы. Сплавы на основе железа называют чёрными, к ним относят стали и чугуны; на основе алюминия, магния, титана и др. – цветными.

К основным свойствам металлов и сплавов относятся механические, физические, химические, технологические и эксплуатационные свойства.

Механические свойства.

Механические свойства определяют поведение металла под нагрузкой. Характеристики механических свойств получают при механических испытаниях. Для этого воздействуют на образец из данного материала какой-то силой и измеряют реакцию материала.

Наиболее общими механическими свойствами являются прочность и твёрдость, пластичность и ударная вязкость.

Внешняя нагрузка вызывает в твёрдом теле напряжение и деформацию.

Внешние силы могут быть статическими, динамическими или циклическими (повторно-переменными). Под действием различных внешних сил металл деформируется и разрушается. Но величиной приложенной нагрузки нельзя охарактеризовать условия нагружения. Важно знать, на какую площадь поперечного сечения эта нагрузка действует.

За характеристику нагружения принимают напряжение – это нагрузка (сила), отнесенная к площади поперечного сечения испытуемого образца, МПа

$$\sigma = \frac{P}{F}, \quad (1.1)$$

где P – нагрузка;

F – площадь поперечного сечения испытуемого образца, м²

Напряжение, возникающее в металле, вызывает деформацию.

Деформация – изменение формы и размеров твердого тела под влиянием приложенных внешних сил. Деформация может быть упругой, исчезающей после снятия нагрузки, и пластической, остающейся после снятия нагрузки.

При увеличении нагрузки упругая деформация переходит в пластическую; при дальнейшем повышении нагрузки происходит разрушение тела.

Прочность – это способность материала сопротивляться деформации или разрушению под действием внешних нагрузок (статических или динамических). Стандартными характеристиками прочности, которые закладываются в конструкторский расчёт, являются условный предел текучести (σ_{02}) и предел прочности σ_s .

Прочность определяют с помощью специальных механических испытаний образцов, изготовленных из исследуемого материала. Для определения прочности при статических нагрузках образцы испытывают на растяжение, сжатие, изгиб и кручение.

Прочность при динамических нагрузках оценивают по ударной вязкости, Дж/м².

Характеристики прочности:

- предел упругости $\sigma_y = \frac{P_y}{F_0}$ [МПа] – это наибольшее напряжение,

после которого образец возвращается к прежней форме и размерам;

- предел текучести $\sigma_T = \frac{P_T}{F_0}$ [МПа] – это напряжение пластического

течения металла без увеличения нагрузки;

- предел прочности $\sigma_B = \frac{P_{max}}{F_0}$ [МПа] – это наибольшее напряжение,

которое металл выдерживает, не разрушаясь.

Истинный, или физический предел текучести σ_T определить трудно: не у всех металлов образуется «площадка текучести». Поэтому чаще всего определяют условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, который вызывает остаточную деформацию 0,2 %: $\sigma_T \approx \sigma_{0,2}$.

Прочностные расчёты ведут чаще по пределу текучести, так как значительная пластическая деформация большинства деталей и конструкций недопустима. Но предел прочности знать необходимо, так как он показывает, при каком напряжении начнётся разрушение.

Пластичность – это способность металла деформироваться без разрушения.

Характеристики пластичности определяют из испытания на растяжение. Это

относительное удлинение

$$\delta = \frac{l_K - l_0}{l_0} \cdot 100 [\%], \quad (1.2)$$

и относительное сужение

$$\psi = \frac{F_0 - F_K}{F_0} \cdot 100 [\%], \quad (1.3)$$

где l_0 и l_K – длина образца до и после испытания;

F_0 и F_K – начальная и конечная площадь поперечного сечения образца.

Относительное удлинение и относительное сужение являются одновременно и критериями надёжности: материал, имеющий большие значения δ и ψ , более надёжен.

Твёрдость – это способность материала сопротивляться внедрению в него другого, более твёрдого тела, которое называется индентором.

Твёрдость определяется методом вдавливания наконечника – индентора в испытуемый образец (рисунок 1.1) и оценивается по глубине или размеру возникающего отпечатка (углубления). Приборы для измерения твёрдости различаются материалом (твёрдостью) и формой индентора и величиной прилагаемой нагрузки.

Соответственно различают HB, HRB (HRC) и HV – твёрдость по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу, соответственно HB и HRB (индентор – закалённый стальной шарик) используется для измерения твёрдости

мягких материалов; HRC и HV (индентор – алмазный конус и пирамида соответственно) – для твёрдых т очень твёрдых материалов.

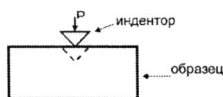
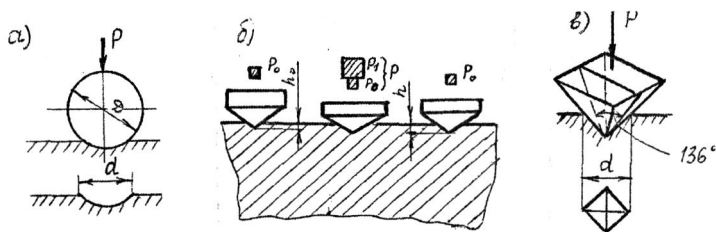


Рисунок 1.1 – Схема испытаний образцов на твердость

Твердость по Бринеллю определяется как отношение нагрузки при вдавливании стального шарика в испытуемый материал к площади поверхности полученного сферического отпечатка (рисунок 1.2, а).

$$HB = \frac{2P}{\pi D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1.4)$$

где P – нагрузка, кгс;
 D – диаметр шарика, мм;
 d – диаметр лунки, мм



а – по Бринеллю; б – по Роквеллу; в – по Виккерсу

Рисунок 1.2 – Схемы испытания на твердость

Твердость по Роквеллу определяется глубиной проникновения в испытуемый материал алмазного конуса с углом при вершине 120° или закаленного шарика диаметром 1,588 мм (рисунок 1.2, б).

Конус или шарик вдавливают двумя последовательными нагрузками:

- предварительной $P_0 = 10$ н;

- общей $P = P_0 + P_1$,

где P_1 – основная нагрузка.

Твердость обозначается в условных единицах:

- для шкал А и С

$$HRC = 100 - \frac{h - h_0}{0.002}, \quad (1.5)$$

- для шкалы В

$$HRB = 130 - \frac{h - h_0}{0.002}, \quad (1.6)$$

Для определения твердости используется алмазный конус при нагрузке 60 Н (HRA), алмазный конус при нагрузке 150 Н (HRC) или стальной шарик диаметром 1,588 мм (HRB).

Твердость по Виккерсу измеряют для деталей малой толщины и тонких поверхностных слоев, полученных химико-термической обработкой.

Эта твердость определяется как отношение нагрузки при давлении в испытуемый материал алмазной четырехгранной пирамиды с углом между гранями $\alpha = 136^\circ$ к площади поверхности полученного пирамидального отпечатка (рисунок 1.2, в)

$$HV = \frac{2P \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = \frac{1.854P}{d^2}, \quad (1.7)$$

где P – нагрузка, кгс;

$\alpha = 136^\circ$ – угол между гранями;

d – среднее арифметическое длин обеих диагоналей, мм.

Величину HV находят по известному d согласно формуле или по расчетным таблицам согласно ГОСТ 2999-75.

Вязкость – это способность материала сопротивляться разрушению при ударных, динамических нагрузках.

Характеристика вязкости определяется при испытаний на ударный изгиб. Это динамическое испытание, при котором нагрузка

прилагается к образцу с очень большой скоростью, за тысячные доли секунды.

Испытание проводится на маятниковом копре (рисунок 1.3).

Тяжёлый маятник, поднятый на определённый угол, отпускают. На пути движения маятника находится образец. Удар ножа маятника разрушает его. Произведённая при разрушении работа определяется как разность между потенциальной энергией маятника до и после испытания.

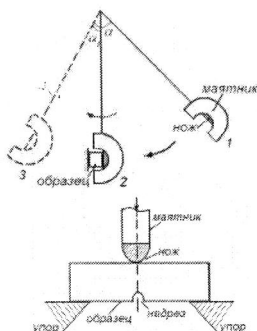


Рисунок 1.3 – Схема испытания на маятниковом копре

Ударная вязкость – это работа разрушения образца, отнесённая к площади поперечного сечения

$$KС = \frac{A_p}{F} [\text{Дж} / \text{м}^2], \quad (1.8)$$

где A_p – работа разрушения;

F – площадь поперечного сечения образца.

Образец должен иметь надрез – концентратор напряжения. Обозначение ударной вязкости зависит от вида надреза (рисунок 1.4).

Ударную вязкость обозначают КСУ, КСV и КСТ. Буквы КС означают символ ударной вязкости, буквы U, V, T – вид концентратора: U – образный с радиусом надреза $r_n = 1$ мм, V – образный с $r_n = 0,25$ мм; T – трещина усталости, созданная в основании надреза; КСУ – основной критерий ударной вязкости; КСV и КСТ используют в специальных случаях.

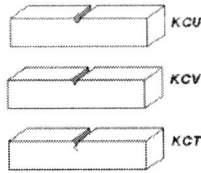


Рисунок 1.4 – Образцы для испытаний на ударную вязкость

Для одного и того же материала $KCU > KCV > KCT$, т.е. чем острее надрез, тем легче разрушается материал.

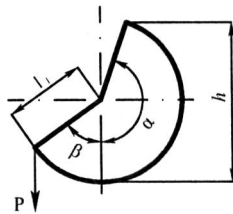


Рисунок 1.5 – Схема испытаний на ударную вязкость

Работа, затраченная на разрушение образца, определяется по формуле

$$A_p = P \cdot l_1 \cdot (\cos \beta - \cos \alpha), \quad (1.9)$$

где P – масса маятника, кг;

l_1 – расстояние от оси маятника до его центра тяжести;

β – угол после удара;

α – угол до удара

Ударная вязкость очень важная характеристика, т.к. от ее величины зависит эксплуатационная надежность изделий. Материалы с малой величиной ударной вязкости являются хрупкими и могут легко разрушаться даже при небольших динамических нагрузках из-за случайных (или технологических) повреждений поверхности деталей или внутренних дефектов структуры.

Физические свойства. К физическим свойствам металлов и сплавов относятся температура плавления, плотность, тепловое

расширение, электропроводность и электросопротивление, магнитное свойство, теплопроводность.

Температура плавления – это температура, при котором металл переходит из твёрдого состояния в жидкое.

Металлы плавятся при постоянной температуре, а сплавы в интервале температур. В зависимости от температуры плавления различают тугоплавкие, у которых температура плавления больше температуры плавления железа (вольфрам, молибден, тантал и т.д), и легкоплавкие у которых температура плавления меньше температуры плавления железа (олово, свинец и т.д).

Плотность. Отношение массы тела к его объёму является постоянной для данного вещества и называется плотностью.

$$\rho = \frac{m}{V} \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right), \quad (1.10)$$

где m – масса;
 V – объём.

Тепловое расширение. Изменение линейных размеров тела при нагревании называется тепловым линейным расширением, которое характеризуется коэффициентом линейного расширения α . α – показывает степень увеличения первоначального размера металла при повышении температуры на один градус.

Длина изделия после нагрева

$$l = l_0(1 + \alpha \cdot t), \quad (1.11)$$

где l_0 – первоначальная длина изделия;
 t – изменение температуры при нагреве.

Электропроводность и электросопротивление.

Химические свойства. К химическим свойствам относятся способность к химическому взаимодействию с агрессивными средами.

Технологические свойства. Способность материала подвергаться различным методам горячей и холодной обработки определяют по его технологическим свойствам. К технологическим свойствам металлов и сплавов относятся литейные свойства, деформируемость, свариваемость и обрабатываемость режущим инструментом.

Литейные свойства определяются жидкотекучестью, усадкой и склонностью к ликвации.

Деформируемость – это способность принимать необходимую форму под влиянием внешней нагрузки без разрушения и при наименьшем сопротивлении нагрузке.

Свариваемость – это способность металлов и сплавов образовывать неразъёмные соединения требуемого качества.

Эксплуатационные, или служебные свойства. В зависимости от условий работы машины или конструкции определяют коррозионную стойкость; хладостойкость; жаропрочность; жаростойкость; антифрикционность материала.

Коррозионная стойкость – сопротивление сплава действию агрессивных кислотных и щелочных сред.

Хладостойкость – способность сплава сохранять пластические свойства при температурах ниже 0°C .

Жаропрочность – способность сплава сохранять механические свойства при высоких температурах.

Жаростойкость – способность сплава сопротивляться окислению в газовой среде при высоких температурах.

Антифрикционность – способность сплава прирабатываться к другому сплаву.

Эти свойства определяются в зависимости от условий работы машины или конструкции специальными испытаниями.

В условиях эксплуатации свойства материалов могут не соответствовать стандартным, приведённым в справочниках значениям. В различных агрессивных средах, при действии высоких или низких температур металлы проявляют значительно меньшую прочность и долговечность, чем при нормальных условиях.

Хладноломкость. При низких температурах (от 0 до минус 269°C , температуры жидкого гелия) увеличивается склонность металла к хрупкому разрушению. При этом резко снижается ударная вязкость (КСУ, КСТ) и изменяется строение излома – от волокнистого, матового до кристаллического, блестящего.

Свойство металла хрупко разрушаться, терять вязкость при понижении температуры называется хладноломкостью.

За характеристику хладноломкости принимают температурный порог хладноломкости t_{50} . Это температура, при которой величина ударной вязкости уменьшается вдвое (рисунок 1.6). При этом излом имеет строение наполовину вязкое, наполовину хрупкое.

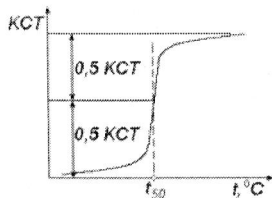


Рисунок 1.6 – Определение порога хладноломкости

Выносливость. Многие детали – валы, шестерни, оси – испытывают переменные по величине и направлению нагрузки. Под действием многократно повторяющихся знакопеременных нагрузок в металле накапливаются повреждения, дефекты. Это явление называется усталостью.

Выносливость – это способность металла противостоять усталости, сопротивляться разрушению при знакопеременных нагрузках.

Характеристики выносливости определяются из испытаний на специальных машинах циклического действия. Нагрузка, действующая на каждую точку поперечного сечения образца, непрерывно меняется по величине и направлению (рисунок 1.7).

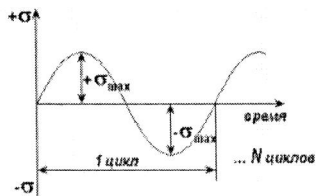


Рисунок 1.7 – Схема циклического нагружения при усталостных испытаниях

Пределом выносливости, или пределом усталости σ_{-1} называется наибольшее напряжение, которое не вызывает разрушение образца после заданного числа циклов нагружения.

При испытаниях сталей стандартное число циклов нагружения $N = 10^7$, при испытаниях цветных металлов и сплавов $N = 10^8$.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое химический состав материала?
2. Что входит в понятие структуры (микроструктуры) материалов?
3. Какие свойства наиболее важны для конструкционных материалов? Почему?
4. Перечислите основные механические свойства материалов.
5. Назовите наиболее распространенные характеристики прочности. Как они определяются, в каких единицах измеряются?
6. Перечислите приборы для измерения твердости; как обозначаются величины твердости, полученные на этих приборах?
7. Что такое пластичность? Какими характеристиками оценивают ее величину?
8. Какое свойство характеризуется символом KCU? Каков принцип его определения? В каких единицах оно измеряется?
9. Каково характерное свойство материалов с низкой величиной KCU?

Если Вы успешно отвечаете на эти вопросы, можно переходить к проверке качества Ваших знаний с помощью тестов.

Тестовые задания

1. Какое из перечисленных свойств (параметров) в наибольшей степени характеризует сопротивление материала хрупкому разрушению?

- A) Твердость;
- B) Предел прочности;
- C) Относительное удлинение;
- D) Ударная вязкость;
- E) Предел текучести.

2. Какая характеристика металла должна быть высокой для успешной обработки его давлением (например, холодной штамповки)?

- A) Предел текучести;
- B) Предел прочности;
- C) Относительное удлинение;
- D) Модуль упругости;
- E) Твердость.

3. Какое из перечисленных свойств является механическим?

- A) Плотность;
- B) Электросопротивление;
- C) Пластичность;
- D) Коэрцитивная сила;
- E) Теплоемкость.

4. К какой группе свойств конструкционных материалов относятся коррозионная стойкость, антифрикционность, жаропрочность, жаростойкость, хладостойкость?

- A) механические;
- B) технологические;
- C) физические;
- D) химические;
- E) эксплуатационные;

5. Способность сплава сохранять пластические свойства при температурах ниже нуля градусов Цельсия называется

- A) жаропрочностью;
- B) жаростойкостью;
- C) Хладостойкостью;
- D) пластичностью;
- E) красностойкостью.

6. Способность сплава сопротивляться окислению в газовой среде при высоких температурах называется

- A) жаростойкостью;
- B) жаропрочностью;
- C) коррозионной стойкостью;
- D) пластичностью;
- E) хладостойкостью.

7. Сопротивление сплава действию агрессивных кислотных и щелочных сред называется

- A) жаропрочностью;
- B) антифрикционностью;
- C) красностойкостью;
- D) коррозионной стойкостью;
- E) жаростойкостью.

8. Способность сплава сохранять механические свойства при высоких температурах называется

- A) жаропрочностью;
- B) жаростойкостью;
- C) прочностью;
- D) красностойкостью;
- E) антифрикционностью.

Если Вы ответили на все вопросы для самопроверки и справились с тестами, можете переходить к освоению следующей темы

1.2 Классификация и маркировка материалов

1.2.1 Классификация углеродистых сталей

Стаями принято называть сплавы железа с углеродом, содержащие до 2,14 % углерода. Кроме того, в их состав обычно входят марганец, кремний, сера и фосфор; некоторые элементы могут быть введены для улучшения физико-химических свойств, специально (легирующие элементы). Стали можно подразделять на группы по различным классификационным признакам:

1) По химическому составу стали делятся на углеродистые и легированные. В свою очередь, углеродистые стали можно подразделить:

- а) низкоуглеродистые, т.е. содержащими углерода до 0,25 %;
- б) среднеуглеродистые, в которых содержание углерода составляет от 0,25 до 0,6 %;
- в) высокоуглеродистые, в которых содержание углерода свыше 0,6 %.

Легированные стали подразделяются на:

- а) низколегированные, содержащие до 2,5 % легирующих элементов;
- б) среднелегированные, в их состав входят от 2,5 % до 10,0 % легирующих элементов;
- в) высоколегированные, которые содержат свыше 10,0 % легирующих элементов.

2) По структуре стали классифицируют на доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные.

3) по назначению стали бывают:

- а) конструкционные, предназначенные для изготовления строительных и машиностроительных изделий;

б) инструментальные, из которых изготовляют режущий, мерительный, штамповый и прочий инструмент; эти стали содержат более 0,65 % углерода;

в) с особыми физическими свойствами, например, с определенными магнитными характеристиками или малым коэффициентом линейного расширения: электротехническая сталь;

г) с особыми химическими свойствами, например нержавеющие, жаростойкие или жаропрочные стали.

В свою очередь, конструкционные стали делятся на цементуемые стали, улучшаемые стали, рессорно-пружинные стали и т.д.

4) по качеству в зависимости от содержания вредных примесей: серы и фосфора, стали подразделяют на:

а) стали обыкновенного качества, содержащие серы $\leq 0,05$ % , фосфора $\leq 0,04$ % (по ГОСТ 380-2005);

б) качественные стали – серы $\leq 0,04$ % , фосфора $\leq 0,035$ % (по ГОСТ 1050);

в) высококачественные стали – $\leq 0,025$ % серы и фосфора;

г) особовысококачественные стали – $\leq 0,015$ % серы и фосфора.

Чем этих примесей меньше, тем качество стали выше. Дальнейшая обработка, механическая или термическая, не способна изменить качество стали, полученная в процессе выплавки.

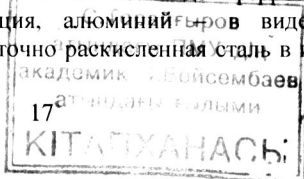
5) по степени раскисления стали подразделяются:

а) спокойная сталь, т.е. это хорошо раскисненная сталь, такие стали обозначаются буквами "сп" в конце марки (иногда буквы "сп" опускаются). При выплавке в конце процесса осуществляется последовательно раскисление её марганцем, кремнием и алюминием;

б) кипящая сталь – это плохо раскисненная сталь. Раскисление в этом случае осуществляется только марганцем. В стали к моменту разлива остается кислород, образующий с углеродом газообразный оксид СО. Пузырьки СО поднимаются в жидкой стали к поверхности, создавая видимость «кипения» расплава в изложнице. Они сохраняются в слитке стали при кристаллизации, ухудшая механические свойства. Маркируются буквами "кп";

в) полуспокойная сталь - занимающие промежуточное положение между двумя предыдущими; обозначаются буквами "пс".

Раскислением называют последний этап выплавки стали, когда в расплав добавляют более активные, чем железо, металлы с целью удалить кислород, восстановить его из оксида FeO. Марганец и кремний вводится в жидкую сталь в виде ферросплавов – ферромарганца и ферросилиция, алюминий в виде металла технической чистоты. Недостаточно раскисненная сталь в изложнице



«кипит»: из неё выделяются пузырьки CO , так как идёт процесс восстановления железа углеродом, поэтому её называют кипящей.

Сталь обыкновенного качества подразделяется еще и по поставкам на 3 группы:

а) сталь группы А поставляется потребителям по механическим свойствам (такая сталь может иметь повышенное содержание серы и фосфора);

б) сталь группы Б – по химическому составу;

в) сталь группы В – с гарантированными механическими свойствами и химическим составом.

В зависимости от нормируемых показателей (предел прочности σ_b , относительное удлинение δ %, предел текучести σ_t , изгиб в холодном состоянии) сталь каждой группы делится на категории, которые обозначаются арабскими цифрами.

Маркировка углеродистых сталей.

Сталь углеродистая обыкновенного качества

Стали обыкновенного качества обозначают буквами "Ст" и условным номером марки (от 0 до 6) в зависимости от химического состава и механических свойств: Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6 и Ст3Г, Ст5Г. Чем выше содержание углерода и прочностные свойства стали, тем больше ее номер.

Буква "Г" после номера марки указывает на повышенное содержание марганца в стали. Перед маркой указывают группу стали, причем группа А в обозначении марки стали не ставится. Для указания категории стали к обозначению марки добавляют в конце номер соответствующей категории, первую категорию обычно не указывают.

Ст1кп2 – углеродистая сталь обыкновенного качества, кипящая, номер марки 1, второй категории, поставляется потребителям по механическим свойствам (группа А);

ВСт5Г – углеродистая сталь обыкновенного качества с повышенным содержанием марганца, спокойная, номер марки 5, первой категории, с гарантированными механическими свойствами и химическим составом (группа В);

БСт0 – углеродистая сталь обыкновенного качества, номер марки 0, группы Б, первой категории (стали марок Ст0 и ВСт0 по степени раскисления не разделяют).

Металлургические заводы выпускают стали обыкновенного качества в виде проката разных профилей т.е. это могут быть прутки круглого, квадратного, шестигранного сечения, уголки, швеллеры,

листы, трубы и т.д. Стали обыкновенного качества марок Ст2, Ст3, применяются для изготовления сварных конструкции (фермы, рамы).

Стали марок Ст3 Ст4 применяют для изготовления деталей оси, рычаги, получаемые холодной штамповкой, цементуемые шестерни, поршневые кольца и т.д. Стали марок Ст5 и Ст6 применяют для более нагруженных изделий: рельсов, валов, железнодорожных колёс и т.д.

Качественные стали

Качественные стали маркируют следующим образом:

1) в начале марки указывают содержание углерода цифрой, соответствующей его средней концентрации:

а) в сотых долях процента для большинства сталей:

05кп – сталь углеродистая качественная, кипящая, содержит 0,05 % углерода;

60 – сталь углеродистая качественная, спокойная, содержит 0,60 % углерода;

б) в десятых долях процента для инструментальных сталей, которые дополнительно снабжаются буквой "У":

У7 – углеродистая инструментальная качественная сталь, содержащая 0,7 % С, спокойная (все инструментальные стали хорошо раскислены);

У12 – углеродистая инструментальная качественная сталь, спокойная, содержит 1,2 % С;

2) легирующие элементы, входящие в состав стали, обозначают русскими буквами:

А – азот	К – кобальт	Т – титан
Б – ниобий	М – молибден	Ф – ванадий
В – вольфрам	Н – никель	Х – хром
Г – марганец	П – фосфор	Ц – цирконий
Д – медь	Р – бор	Ю – алюминий
Е – селен	С – кремний	Ч – редкоземельные металлы

Если после буквы, обозначающей легирующий элемент, стоит цифра, то она указывает содержание этого элемента в процентах. Если цифры нет, то сталь содержит 0,8–1,5 % легирующего элемента, за исключением молибдена и ванадия (содержание которых в сталях обычно до 0,2–0,3 %), а также бора (в стали с буквой Р его должно быть не менее 0,0010 %) и некоторых других элементов.

14Г2 – низколегированная качественная сталь, спокойная, содержит приблизительно 0,14 % углерода и до 2,0 % марганца.

03X16H15M3B – высоколегированная качественная сталь, спокойная, содержит 0,03 % С, 16,0 % Cr, 15,0 % Ni, до 3,0 % Mo, до 1,0 % Nb.

Высококачественные и особовысококачественные стали

Маркируют так же, как и качественные, но в конце марки высококачественной стали ставят букву "А" (буква "А" в середине марочного обозначения указывает на наличие азота, специально введенного в сталь), а после марки особовысококачественной – через тире букву "Ш".

У8А – углеродистая инструментальная высококачественная сталь, содержащая 0,8 % углерода;

30ХГС-Ш – особовысококачественная среднелегированная сталь, содержащая 0,30 % углерода и от 0,8 до 1,5 % хрома, марганца и кремния каждого.

Специальная маркировка сталей

Отдельные группы сталей обозначают несколько иначе.

Шарикоподшипниковые стали маркируют буквами "ШХ", после которых указывают содержание хрома в десятых долях процента:

ШХ6 – шарикоподшипниковая сталь, содержащая 0,6 % хрома;

ШХ15ГС – шарикоподшипниковая сталь, содержащая 1,5 % хрома и от 0,8 до 1,5 % марганца и кремния.

Быстрорежущие стали (сложнолегированные) обозначают буквой "Р", следующая за ней цифра указывает на процентное содержание в ней вольфрама:

Р18 – быстрорежущая сталь, содержащая 18,0 % вольфрама;

Р6М5К5 – быстрорежущая сталь, содержащая 6,0 % вольфрама, 5,0 % молибдена, 5,0 % кобальта.

Автоматные стали обозначают буквой "А" и цифрой, указывающей среднее содержание углерода в сотых долях процента:

А12 – автоматная сталь, содержащая 0,12 % углерода (все автоматные стали имеют повышенную концентрацию серы и фосфора);

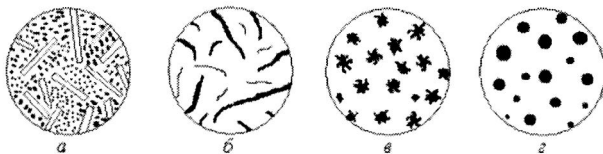
А40Г – автоматная сталь с 0,40 % углерода и повышенным до 1,5 % содержанием марганца.

1.2.2 Классификация и маркировка чугунов

Чугунами называют сплавы железа с углеродом, содержащие более 2,14 % углерода. Они содержат те же примеси, что и сталь, но в большем количестве.

В зависимости от того, в какой форме содержится углерод, различают следующие виды чугунов: белые, в которых весь углерод

связан в карбид железа Fe_3C (рисунок 1.8, а), серые с пластинчатым графитом (рисунок 8, б), ковкие – с хлопьевидным графитом (рисунок 1.8, в) и высокопрочные – с шаровидным графитом (рисунок 1.8, г).



а – белый заэвтектический; б – серый; в – ковкий; г – высокопрочный

Рисунок 1.8 – Виды чугунов

Белые чугуны. Белые чугуны содержат углерод только в связанном виде – в виде цементита. В зависимости от содержания углерода они подразделяются на доэвтектические, эвтектические и заэвтектические. В структуру любого белого чугуна входит эвтектика – ледебурит. В момент образования он состоит из аустенита и цементита, а при температуре ниже $727^{\circ}C$ – из перлита и цементита.

Излом белого чугуна светлый, блестящий – «белый», отсюда и название. Твёрдость составляет 450–500 НВ, материал очень хрупкий и твёрдый. Резанием (лезвийным инструментом) не обрабатывается, для изготовления деталей не используется.

Применяют отбеленные чугунные детали, у которых сердцевина имеет структуру серого чугуна, а с поверхности есть слой белого чугуна толщиной 5–7 мм. Так можно изготавливать прокатные валки, шары мельниц для размола горных пород, зубья ковшей экскаваторов т.е для изделий, от которых требуется высокая твёрдость и износостойкость поверхности.

Для получения структуры белого чугуна необходимо быстрое охлаждение отливки, а также минимальное содержание кремния и присутствие марганца и хрома («отбеливающих» компонентов). Главное назначение белого чугуна – передел в ковкий чугун.

От состояния углерода в чугуне различают белый чугун, в котором весь углерод находится в связанном состоянии в виде карбида, и чугун, в котором углерод в значительной степени или полностью находится в свободном состоянии в виде графита. В зависимости от формы выделившегося графита, что определяет прочностные свойства сплава, чугуны подразделяются на:

а) серые – пластинчатая или червеобразная форма графита;

б) высокопрочные – шаровидный графит;

в) ковкие – хлопьевидный графит.

Положительные стороны наличия графита.

а) графит улучшает обрабатываемость резанием, так как образуется ломкая стружка;

б) чугун имеет лучшие антифрикционные свойства, по сравнению со сталью, так как наличие графита обеспечивает дополнительную смазку поверхностей трения;

в) из-за микропустот, заполненных графитом, чугун хорошо гасит вибрации и имеет повышенную циклическую вязкость;

г) детали из чугуна не чувствительны к внешним концентраторам напряжений (выточки, отверстия, переходы в сечениях);

д) чугун значительно дешевле стали;

е) производство изделий из чугуна литьем дешевле изготовления изделий из стальных заготовок обработкой резанием, а также литьем и обработкой давлением с последующей механической обработкой.

Чугуны маркируют двумя буквами и двумя цифрами, соответствующими минимальному значению временного сопротивления (σ_b) при растяжении в МПа $\times 10^{-1}$. Серый чугун обозначают буквами "СЧ", высокопрочный – "ВЧ", ковкий – "КЧ".

СЧ10 – серый чугун с пределом прочности при растяжении $\sigma_b=100$ МПа;

ВЧ70 – высокопрочный чугун с пределом прочности при растяжении $\sigma_b=700$ МПа;

КЧ35 – ковкий чугун с пределом прочности при растяжении $\sigma_b=350$ МПа.

Для работы в узлах трения со смазкой применяют отливки из антифрикционного чугуна АЧС-1, АЧС-6, АЧВ-2, АЧК-2 и др., что расшифровывается следующим образом: АЧ – антифрикционный чугун, С – серый, В – высокопрочный, К – ковкий; цифры обозначают порядковый номер сплава.

Серые чугуны. В сером чугуне углерод находится в свободном виде – в виде графита.

Механические свойства серых чугунов зависят от структуры основы и от количества, формы и размеров графитовых включений. Перлитные серые чугуны твёрже и прочнее, ферритные – наименее прочные, феррито-перлитные – имеют промежуточные характеристики. Графит играет роль надрезов, трещин в металлической основе. Говорят, что чугун – это сталь, испорченная графитом. Серый чугун – самый дешёвый литейный сплав. Имеет высокую жидкотекучесть и малую усадку, что позволяет получать

тонкостенные фасонные отливки. Хорошо обрабатывается резанием: получается мелкая сыпучая стружка, графит является твёрдой смазкой и уменьшает тем самым износ инструмента.

Чугун – единственный сплав, в марке которого зашифрован не химический состав, а механические свойства. Например, марка СЧ 12 означает: серый чугун с пределом прочности при растяжении 120 МПа (12 кг/мм²). Серый чугун широко применяется в машиностроении, так как легко обрабатывается и обладает хорошими свойствами. Серые чугуны применяют для изготовления деталей, работающих с небольшими нагрузками, в основном, на сжатие. Это колонны, опоры, корпуса, станины, крышки, зубчатые колёса и т.д.

Высокопрочные чугуны. В высокопрочных чугунах графит имеет шаровидную форму. Они содержат 2,7–3,5 % углерода. Их модифицируют в ковше магнием (0,02–0,08 %). Атомы магния образуют тонкий слой на поверхности зародыша графита, увеличивая его поверхностную энергию. Такой вид чугунов был создан с целью повысить механические свойства чугуна. Предел прочности при растяжении σ_B и относительное удлинение δ у высокопрочных чугунов выше, чем у серых, так как шаровидные включения графита – более мягкие концентраторы напряжения, чем пластинчатые. Маркировка высокопрочных чугунов аналогична маркировке серых. Например: ВЧ 90 означает: высокопрочный чугун с пределом прочности при растяжении 900 МПа (90 кг/мм²). Такие чугуны выдерживают значительные растягивающие нагрузки, поэтому применяются для более ответственных деталей: кузнечно-прессового оборудования, станин прокатных станков, коленчатых валов автомобилей и т.д. Такие отливки можно подвергать упрочняющей термообработке.

Ковкий чугун. В ковких чугунах графит имеет хлопьевидную форму. Такой графит получается при отжиге белого доэвтектического чугуна с содержанием углерода 2,5–3%.

При нагреве до температур, близких к солидусу, цементит в белом чугуне распадается на исходные компоненты: железо и углерод.



Режим отжига может быть различным. Во время выдержки при температуре 1000 °С распадается цементит эвтектики и получается перлитный ковкий чугун (рисунок 9, режим а).

Если сделать отжиг в две стадии, с выдержкой вначале немного ниже 1147 °С, а затем чуть ниже температуры перлитного превращения, то на первой стадий распадается цементит эвтектики, а на второй – цементит, входящий в перлит (рисунок 1.9, режим б). При таком режиме получается ферритный ковкий чугун, самый мягкий и пластичный (рисунок 1.9, а). Отжиг на ковкий чугун – длительная процедура, он занимает до 70-80 часов. Поэтому ковкий чугун самый дорогой.

Маркировка ковких чугунов включает характеристику не только прочности, но и пластичности. Например, КЧ 45–7 означает ковкий чугун с пределом прочности при растяжении 450МПа (45 кг/мм²) и относительным удлинением 7 %. Но несмотря на повышенную пластичность материала, название «ковкий» – условное, ковать его нельзя.

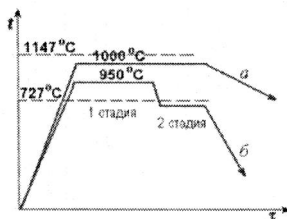


Рисунок 1.9 – Режимы отжига

По механическим и технологическим свойствам ковкий чугун занимает промежуточное положение между серым чугуном и сталью. Недостатком ковкого чугуна по сравнению с высокопрочным является ограничение толщины стенок для отливки и необходимость отжига.

Отливки из ковкого чугуна применяют для деталей, работающих при ударных и вибрационных нагрузках.

Из ферритных чугунов изготавливают картеры редукторов, ступицы, крюки, скобы, хомутики, муфты, фланцы.

Из перлитных чугунов, характеризующихся высокой прочностью, достаточной пластичностью, изготавливают вилки карданных валов, звенья и ролики цепей конвейера, тормозные колодки.

1.2.3 Классификация и маркировка цветных сплавов

Медь и ее сплавы

Технически чистая медь обладает высокой пластичностью, коррозионной стойкостью, малым удельным электросопротивлением и высокой теплопроводностью. По чистоте медь подразделяют на марки (ГОСТ 859-2001):

М00к – технически чистая медь, содержащая не менее 99,99 % меди и примеси серебра;

МЗ – технически чистая медь огневого рафинирования, содержит не менее 99,5 % меди и примеси серебра.

Медные сплавы разделяют на бронзы и латуни.

Бронзы – это сплавы меди с оловом (4–33 % Sn, хотя бывают безоловянные бронзы), свинцом (до 30 % Pb), алюминием (5–11 % Al), кремнием (4–5 % Si), сурьмой и фосфором.

Латуни – сплавы меди с цинком (до 50 % Zn) и небольшими добавками алюминия, кремния, свинца, никеля, марганца.

Медные сплавы, предназначенные для изготовления деталей методами литья, называют литейными. Сплавы, предназначенные для изготовления деталей пластическим деформированием, – сплавами, обрабатываемыми давлением.

Медные сплавы обозначают начальными буквами их названия (Бр или Л), после чего следуют первые буквы названий основных элементов, образующих сплав, и цифры, указывающие количество элементов в процентах. Приняты следующие обозначения компонентов сплавов:

А – алюминий	Мг – магний	Ср – серебро
Б – бериллий	Мш – мышьяк	Су – сурьма
Ж – железо	Н – никель	Т – титан
К – кремний	О – олово	Ф – фосфор
Кд – кадмий	С – свинец	Х – хром
Мц – марганец	Ц – цинк	

БрА9Мц2Л – бронза, содержащая 9 % Al, 2 % Mn, остальное – Cu (“Л” указывает, что сплав литейный);

ЛЦ40Мц3Ж – латунь, содержащая 40 % Zn, 3 % Mn, 1 % Fe, остальное – Cu;

БрОФ8,0-0,3 – бронза, наряду с медью содержащая 8,0 % олова и 0,3 % фосфора;

ЛАМш77-2-0,05 – латунь, содержащая 77 % меди, 2 % алюминия, 0,05 % мышьяка, остальное цинк (в обозначении латуни, предназначенной для обработки давлением, первое число указывает содержание меди).

В несложных по составу латунях указывают только содержание в сплаве меди:

Л96 – латунь, содержащая 96 % меди и ~ 4 % цинка (томпак),

Л63 – латунь, содержащая 63 % меди и ~ 37 % цинка.

Алюминий и его сплавы

Алюминий – легкий металл, обладающий высокими тепло, электропроводностью, стойкий к коррозии.

В зависимости от степени чистоты первичный алюминий бывает особой (А999), высокой (А995, А95) и технической чистоты (А85, А7Е, А0 и др.). Алюминий маркируется буквой А и цифрами, обозначающими доли процента свыше 99,0 % Аl. Буква “Е” обозначает повышенное содержание железа и пониженное кремния.

А999 – алюминий особой чистоты, в котором содержится не менее 99,999 % Аl;

А5 – алюминий технической чистоты, в котором 99,5 % Аl.

Алюминиевые сплавы разделяют на деформируемые и литейные. Те и другие могут быть не упрочняемые и упрочняемые термической обработкой.

Деформируемые алюминиевые сплавы хорошо обрабатываются прокаткой, ковкой, штамповкой. К деформируемым алюминиевым сплавам, не упрочняемым термообработкой, относятся сплавы системы Аl-Mn и Аl-Mg: АМц, АМцС, АМг1, АМг4, АМг5, АМг6. Аббревиатура включает в себя начальные буквы входящих в состав сплава компонентов и цифры, указывающие содержание легирующего элемента в %.

К деформируемым алюминиевым сплавам, упрочняемым термической обработкой, относятся сплавы системы Аl-Cu-Mg с добавками некоторых элементов (дуралюмины, ковочные сплавы), а также высокопрочные и жаропрочные сплавы сложного химсостава. Дуралюмины маркируются буквой “Д” и порядковым номером, а ковочные сплавы – “АК” и порядковым номером, например: Д1, Д12, Д18, АК4, АК8.

Чистый деформируемый алюминий обозначается буквами “АД” и условным обозначением степени его чистоты: АДоч (99,98 % Аl), АД000 (99,80 % Аl), АД0 (99,5 % Аl), АД1 (99,30 % Аl), АД (98,80 % Аl).

Литейные алюминиевые сплавы обладают хорошей жидкотекучестью, имеют сравнительно небольшую усадку и предназначены в основном для фасонного литья. Эти сплавы маркируются буквами “АЛ” с последующим порядковым номером: АЛ2, АЛ9, АЛ13, АЛ22, АЛ30.

Иногда маркируют по составу: АК7М2; АК21М2; АК4МЦ6. В этом случае "М" обозначает медь, "К" – кремний, "Ц" – цинк, "Н" – никель, цифра – среднее процентное содержание элемента.

Из алюминиевых антифрикционных сплавов изготавливают подшипники и вкладыши как литьем, так и обработкой давлением. Такие сплавы маркируют буквой "А" и начальными буквами входящих в них элементов: А09-2, А06-1, АН-2,5, АСМТ. В первых двух сплавах присутствуют указанное количество олова и меди (первая цифра – олово, вторая – медь в %), в третьем – 2,7-3,3 % Ni и в четвертом – медь, сурьма, теллур.

Титан и его сплавы. Титан – тугоплавкий металл с невысокой плотностью. Удельная прочность титана выше, чем у многих легированных конструкционных сталей, поэтому при замене сталей титановыми сплавами можно при равной прочности уменьшить массу детали на 40 %. Титан хорошо обрабатывается давлением, сваривается, из него можно изготовить сложные отливки, но обработка резанием затруднительна. Для получения сплавов с улучшенными свойствами его легируют алюминием, хромом, молибденом. Титан и его сплавы маркируют буквами "ВТ" и порядковым номером:

ВТ1-00, ВТ3-1, ВТ4, ВТ8, ВТ14.

Пять титановых сплавов обозначены иначе:

ОТ4, ОТ4-0, ОТ4-1, ПТ-7М, ПТ-3В.

Магний и его сплавы. Среди промышленных металлов магний обладает наименьшей плотностью (1700 кг/м^3). Магний и его сплавы неустойчивы против коррозии, при повышении температуры магний интенсивно окисляется и даже самовоспламеняется. Он обладает малой прочностью и пластичностью, поэтому как конструкционный материал чистый магний не используется. Для повышения химико-механических свойств в магниевые сплавы вводят алюминий, цинк, марганец и другие легирующие добавки.

Магниевые сплавы подразделяют на деформируемые и литейные. Первые маркируются буквами "МА", вторые – "МЛ". После букв указывается порядковый номер сплава в соответствующем ГОСТе.

МА1 – деформируемый магниевый сплав № 1;

МЛ19 – литейный магниевый сплав № 19.

Вопросы для самопроверки

1. Какие стали называются легированными? Как влияют легирующие элементы на полиморфизм железа? Сравните

классификацию углеродистых и легированных сталей по равновесной структуре.

2. Как классифицируются инструментальные стали?

3. Требования, предъявляемые к сталям для режущего инструмента. Приведите примеры углеродистых и легированных сталей, используемых для режущего инструмента. Укажите их состав, режим термической обработки, структуру и свойства.

4. Каковы особенности титановых сплавов и области их применения. Какой термической обработке подвергают сплавы на основе титана. Приведите примеры сплавов на основе титана. Укажите их состав, обработку, свойства и область применения?

5. Свойства и применение алюминия. Как классифицируются алюминиевые сплавы. Какие сплавы упрочняются путем термической обработки. Укажите их марки, состав, режим термической обработки, свойства?

6. Каковы свойства магния. Как классифицируются магниевые сплавы. Укажите марки, состав, обработку, свойства и назначение различных сплавов на основе магния?

7. Как влияют примеси на свойства чистой меди. Как классифицируются медные сплавы. Какие сплавы относятся к латуням? Приведите несколько примеров латуней с указанием их состава, структуры, свойств и назначения.

8. Какие сплавы относятся к бронзам? Их маркировка и состав. Укажите строение, свойства и назначение различных бронз. Какой термической обработке подвергается бериллиевая бронза?

Тестовые задания

1. Какая марка стали относится к группе качественных конструкционных сталей?

- A) сталь 45;
- B) Ст 1;
- C) P6M5;
- D) У10;
- E) У8А.

2. Какая марка стали относится к группе сталей обыкновенного качества?

- A) ШХ 15;
- B) Сталь 35;
- C) P6M5;

- D) Ст1 сп;
- E) У 8 А.

3. Какая марка стали относится к группе высококачественных инструментальных сталей?

- A) 30ХНМА;
- B) сталь 35;
- C) У9А;
- D) Р6М5;
- E) 9ХС.

4. БрОЦ4 – 3 имеет следующий состав

- A) олово – 4%; цинка – 3%;
- B) олово – 3%; цинка – 4%;
- C) олово – 4%;
- D) цинка – 3%;
- E) олово – 5%; цинка – 3%.

5. Укажите марку быстрорежущей стали

- A) У10;
- B) 7Х3;
- C) Х12М;
- D) 5ХНМ;
- E) Р6М5.

6. Что означает число 15 в марке стали ШХ15?

- A) содержание хрома в сотых долях %;
- B) содержание хрома в десятых долях %;
- C) содержание хрома в целых долях %;
- D) предел прочности при растяжении;
- E) предел прочности при изгибе.

2 Основные стадии процесса получения заготовок и деталей машин

2.1 Основы металлургического производства

В земной коре металлы находятся в виде руд. Только благородные металлы (золото, серебро, платина) встречаются в виде самородков. Для их извлечения из сопутствующих пород применяют физические методы, основанные на разной плотности. Активные металлы (железо, алюминий, титан, олово, цинк и др.) в природе встречаются только в виде соединений, из которых их извлекают различными химическими способами:

- 1) восстановлением неметаллами (железо восстанавливается углеродом, вольфрам – водородом);
- 2) восстановлением металлами (титан восстанавливают более активным магнием или бериллием);
- 3) электролизом растворов и расплавов (так получают алюминий и магний).

Природные руды зачастую бедные, поэтому перед выплавкой их обогащают. В цикле любого металлургического производства происходит постепенное повышение концентрации нужного металла:

Задача металлургического производства – восстановление металлов из оксидов и других соединений.

Наиболее значимыми в технике являются черные металлы: чугун и сталь. Их получением занимается черная металлургия.

Цветная металлургия получает медь, алюминий, титан, другие цветные металлы и сплавы на их основе. Руды цветных металлов беднее железных: в медной руде содержится от 1 до 5 % меди, в молибденовых – сотые доли процента. Для их обогащения применяется больше операций; плавка идет в несколько этапов.

Структура металлургического производства.

Предприятия черной металлургии базируются на месторождениях руд и коксующихся углей, а также энергетических комплексах.

Сырьем для черной металлургии являются железная руда, кокс, флюсы.

Продукция черной металлургии: стальные и чугунные отливки (литые заготовки), стальной прокат (рельсы, балки, листы, проволока, трубы), чугун передельный и литейный (в чушках), ферросплавы.

Важнейший из этих продуктов – сталь. Отсюда основная задача черной металлургии:

- 1) получение чугуна из руды путем восстановления железа из

оксидов; производится в доменной печи;

2) получение стали из чугуна и скрапа (металлолома) путем окисления избытка примесей; производится в сталеплавильных агрегатах (конверторе, мартеновской печи и др.).

2.2 Получение чугуна

Домна – вертикальная плавильная печь шахтного типа, работает по принципу противотока: шихта загружается сверху, проплавляется и опускается, а горячий воздух и газы поднимаются вверх (рисунок 2.1). Шихтой называют все материалы, загружаемые в печь. В доменном производстве это руда, кокс и флюсы. Все эти материалы проходят предварительную обработку: дробление крупных кусков, спекание мелких, обогащение. В домну загружается не природная руда, а обогащенный концентрат, причем в виде кусков определенной величины (10–80 мм), полученных агломерацией (спеканием) или окатыванием (из мелких фракций увлажненной шихты делаются шарики диаметром 30 мм и обжигаются).

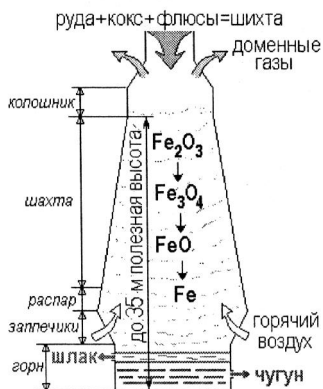


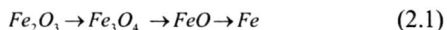
Рисунок 2.1 – Схема доменной печи

Домна вмещает до 7 тыс. т шихты (5 железнодорожных составов). Это печь непрерывного действия, она работает в течение 5–8 лет круглосуточно, без ремонта. Снаружи домна одета стальным кожухом толщиной 40–50 мм, шамотная кладка печи имеет толщину от 70 см в верхней части до 1,5 м в районе горна. Подогретое дутьё (воздух для горения топлива, обогащенный кислородом) подается из

воздухонагревателей через фурмы. Температура дутья достигает 1200 °С, что позволяет экономить кокс и повышает производительность. У каждой домны есть несколько воздухонагревателей, которые поочередно работают то на нагрев кирпичной насадки отходящими газами, то на подогрев воздуха.

Кокс сгорает с выделением большого количества тепла: температура в заплечиках достигает 2000 °С. Продукты сгорания – газы CO и CO₂ – отдают тепло шихте. На выходе их температура составляет всего 300 °С.

В домне идет косвенное (газами CO и H₂) и прямое (твердым углеродом кокса) восстановление железа, последовательно от старших оксидов к младшим:



Кроме того, восстанавливаются примеси – кремний, марганец, фосфор; железо активно растворяет углерод и серу. Сплав, насыщенный углеродом до 4 %, плавится, стекает в горн, и дальнейшее науглероживание становится невозможным: слой жидкого чугуна прикрыт сверху слоем жидкого шлака, состоящего из оксидов и более легкого, чем металл. Сплав железа с углеродом, марганцем, кремнием, фосфором и серой называется доменным чугуном. Он подразделяется на литейный чугун, который разливают в слитки весом 45 кг (чушки) или получают из него отливки, и передельный чугун, который идет на передел в сталь. Передельный чугун из чугуновозных ковшей сливают в миксер – огнеупорную емкость, обогреваемую горячим газом, вместимостью до 2 тыс. т жидкого чугуна. В миксере происходит усреднение состава чугуна из разных плавок, что важно для правильной работы сталеплавильных агрегатов.

Чугун и доменные ферросплавы, применяемые для раскисления и легирования стали, – это основная продукция доменного производства, а шлак и доменный газ – побочная.

Исходные материалы для получения стали – передельный чугун и скрап (металлолом).

Следовательно, чтобы получить сталь, содержание всех примесей в чугуне надо уменьшить примерно в 10 раз. Для этого примеси окисляют и переводят в шлак.

Выплавку стали производят в сталеплавильных печах.

2.3 Литейное производство

Задача литейного производства – получение заготовок и деталей машин путем заливки расплавленного металла в литейную форму, полость которой имеет очертания заготовки. После затвердевания металл сохраняет форму полости. Получаемые заготовки называются отливками.

Отливки могут иметь самую различную массу и размеры. Самые тяжелые отливки весят до 300 т; максимальная длина – 20 м, толщина стенок до 500 мм.

Существует множество способов литья, различаемых по материалу формы, операциям для её изготовления, вариантам заливки жидкого металла в форму и другим признакам.

2.3.1 Литейные свойства сплавов

Есть сплавы, из которых изделия получают методами пластического деформирования (обработкой давлением), а есть литейные, из которых выгоднее отливать детали. Есть сплавы, пригодные и для литья, и для обработки давлением, например, некоторые бронзы. Чугуны являются чисто литейными сплавами.

Литейные сплавы должны обладать следующими свойствами: хорошей жидкотекучестью, малой линейной и объёмной усадкой, не иметь склонности к образованию трещин и газовых раковин и пор.

1 Жидкотекучесть – способность сплава в жидком состоянии течь по каналам формы, заполнять все ее полости и точно воспроизводить контуры отливки.

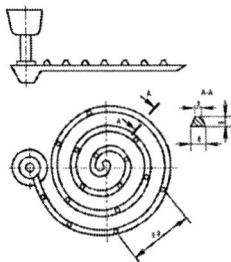


Рисунок 2.2 – Технологическая проба для определения жидкотекучести

Определяется жидкотекучесть заливкой технологической спиральной пробы (рисунок 2.2). Мера жидкотекучести – длина заполненной части спирального канала в мм. Есть сплавы, текущие по каналам формы легко, а есть – вязкие, текущие медленно.

Чтобы повысить жидкотекучесть, можно сильно перегреть сплав перед заливкой или подогреть форму.

Усадка – уменьшение линейных размеров и объёма сплава при охлаждении.

Усадка – явление неизбежное, поэтому важно правильно учитывать эти изменения размеров при проектировании литейной оснастки.

Выражается усадка в относительных единицах:

линейная усадка

$$\varepsilon_l = \frac{(l_{\phi} - l_{om}) \cdot 100}{l_{\phi}}, \quad (2.2)$$

где l_{ϕ} и l_{om} – размеры полости формы и отливки при температуре 20°C;

$$\varepsilon_v = \frac{(V_{\phi} - V_{om}) \cdot 100}{V_{\phi}}, \quad (2.3)$$

где V_{ϕ} и V_{om} – объёмы полости формы и отливки при температуре 20 °С

Усадка может приводить к возникновению дефектов: усадочных раковин, трещин, коробления.

Чтобы предотвратить образование усадочных раковин, применяют приёмы – массивные резервуары с расплавленным металлом, питающие отливку до окончания кристаллизации.

Склонность к образованию трещин.

При затвердевании толстые и тонкие части отливки испытывают неравномерную усадку.

В результате в металле отливки возникают внутренние напряжения. Если они превышают прочность сплава, могут образоваться трещины.

Горячие трещины возникают в начале затвердевания. Обычно они широкие, рваные, с окисленной чёрной поверхностью. Их образованию способствуют вредные примеси (в сталях – газы и сера), высокая температура заливки, резкие перепады сечения отливки, острые углы.

Холодные трещины возникают после полного затвердевания. Они тонкие, с чистой поверхностью, внешне малозаметны и

поэтому особенно опасны. Усадка продолжается и в твёрдом состоянии, поэтому напряжения растут. Способствуют появлению холодных трещин вредные примеси, особенно фосфор, сложная форма отливки, резкие перепады сечения. Надо обеспечивать равномерное охлаждение или отжигать отливки (помещать в печь и медленно охлаждать вместе с печью).

Если напряжения не выше предела прочности, но выше предела текучести сплава, то может возникнуть коробление – искажение формы отливки, особенно тонкостенной.

Склонность к образованию газовых раковин и пор.

Расплавленные металлы всегда растворяют в себе газы – тем больше, чем выше температура расплава. Они захватывают газы из атмосферы и при испарении влаги из формовочной смеси. Газы образуют пузыри в теле отливки. Большие пузыри называются раковинами, мелкие – порами. Формы и стержни надо хорошо просушивать, делать выпоры (каналы) для выхода газов, не завышать температуру заливки. Самый действенный способ – дегазация металла перед разливкой.

Формовочные материалы.

Это кварцевые формовочные пески и литейные формовочные глины. Из них, добавляя влагу и некоторые другие вещества, получают формовочные смеси.

Требования к формовочным смесям:

- 1) Огнеупорность. Смесь не должна размягчаться и расплавляться при контакте с расплавленным металлом.
- 2) Прочность. Смесь не должна разрушаться при извлечении модели, транспортировке формы и заливке.
- 3) Пластичность – способность точно воспроизводить контуры модели при формовке.
- 4) Газопроницаемость – способность пропускать образующиеся в ходе заливки газы к поверхности формы.
- 5) Податливость. Смесь не должна мешать усадке отливки.
- 6) Долговечность. Смесь должна сохранять свои свойства при многократном использовании.

Виды формовочных смесей.

Формовочные смеси по назначению подразделяются на облицовочные, наполнительные и единые. Из облицовочной смеси набивают рабочий слой, который будет контактировать с расплавом, наполнительной смесью заполняют остальную часть формы. Единые смеси применяют в машинной формовке.

Стержневые смеси должны иметь более высокие свойства, чем формовочные, так как они работают в более трудных условиях, окружённые со всех сторон расплавленным металлом.

Литейная оснастка.

Литейная форма – это приспособление, имеющее рабочую полость, при заливке в которую расплавленный металл образует отливку.

Рассмотрим части литейной формы и оснастку, необходимую для её изготовления. Для получения большинства отливок песчаная форма должна состоять из двух полуформ, изготовленных по модели в литейных опоках.

Опока – рамка для удержания формовочной смеси, чаще всего металлическая. Модель – приспособление, имеющее очертания и размеры отливки, с учётом припусков на усадку металла, для получения отпечатка в формовочной смеси. Модели делаются из металла, пластмассы, дерева. Полуформой называют опоку с уплотнённой формовочной смесью и отпечатком от модели.

Но модель повторяет только внешние контуры будущей отливки. Для получения отверстий и полостей в отливках используют стержни, изготовленные из специальных формовочных смесей. Для изготовления стержней применяют стержневые ящики, обычно металлические.

Подвод металла в форму осуществляется через литниковую систему. Это каналы и полости, обеспечивающие заполнение формы расплавом и питание отливки жидким металлом до полного затвердевания, а также удаление шлаков. Чтобы получить эти каналы, модели частей литниковой системы заформовывают вместе с моделью отливки.

Литниковая чаша, или воронка 1, нужна во избежание разбрызгивания металла и растекания по поверхности формы. Иногда используют керамические фильтры 9, которые задерживают частицы оксидов, нерастворённые примеси, кусочки футеровки разливочного ковша. Стояк 8 – вертикальный канал для подачи металла в плоскость разёма формы.

Шлакоуловитель 7 – расширение, куда собираются шлаки (оксиды и другие неметаллические частицы). Канал-питатель 6 подводит металл в полость формы 5. Выпор 2 предназначен для отвода газов. Штриховкой показана уплотнённая формовочная смесь 3.

Специальные виды литья.

Литьё в песчаные формы не всегда даёт нужную точность размеров и чистоту поверхности. Поэтому разработано большое количество других способов литья. Все они называются специальными.

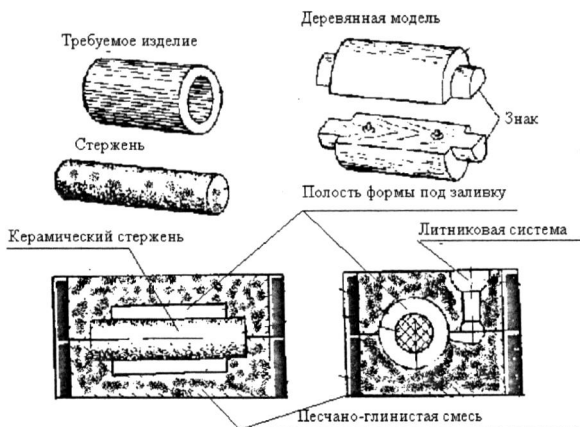


Рисунок 2.3 – Литьё в песчано-глинистые формы

Вопросы для самопроверки

1. В каких агрегатах выплавляется чугун?
2. В чём заключается сущность литья в песчаные формы и каковы особенности этого способа?
3. Что входит в состав формовочных и стержневых смесей? Какие требования предъявляются к формовочным и стержневым смесям?
4. Для чего предназначаются литниковые системы? Назовите основные элементы литниковых систем.
5. Какие способы формовки применяют при изготовлении крупных отливок?
6. Перечислите основные этапы технологического процесса по изготовлению отливок?
7. Назовите основные дефекты, которые могут формироваться в отливках. Какие методы применяются для их обнаружения? Как устраняются эти дефекты?

Тестовые задания

1. Чугун это железо-углеродистый сплав с содержанием углерода более

- A) 6,29
- B) 2,14
- C) 4,13
- D) 1,5

2. По химическим свойствам огнеупорные материалы магнезитовый кирпич, магнезитохромитовый кирпич относятся к группе

- A) нейтральных огнеупоров
- B) кислых огнеупоров
- C) основных огнеупоров
- D) щелочных огнеупоров

3. Процессы выплавки стали осуществляются в этапа

- A) четыре
- B) два
- C) три
- D) пять

4. Доменные печи имеют полезную высоту (высота от уровня чугунной летки до опущенного конуса засыпного аппарата) до

- A) 50 метров
- B) 20 метров
- C) 30 метров
- D) 40 метров

5. Улучшить качество металла можно уменьшением в нём

- A) вредных примесей
- B) полезных примесей
- C) газов
- D) неметаллических включений

6. Доменная печь по конструкции является

- A) шахтной (горизонтальной)
- B) барабанной (вертикальной)
- C) шахтной (вертикальной)
- D) барабанной (горизонтальной)

2.4 Литье в оболочковые формы

Формовочная смесь 3 состоит из кварцевого песка и термореактивной смолы пудльвербакелита. Смесь в сухом виде находится в бункере 2. На бункер устанавливается модельная плита 1 с закрепленной на ней половинкой модели, нагретой до 250 °С (рисунок 2.4, а). Бункер переворачивается на 180°, смесь покрывает поверхность модели (рисунок 2.4, б).

При нагреве смола в слое, прилегающем к модели, расплавляется и связывает зёрна песка в единое целое. Образуется оболочка 4 толщиной примерно 20 мм.

Затем бункер снова возвращается в исходное положение (рисунок 2.4, в), а плиту с оболочкой снимают и помещают в печь при 350 °С. При этом происходит необратимое отверждение смеси.

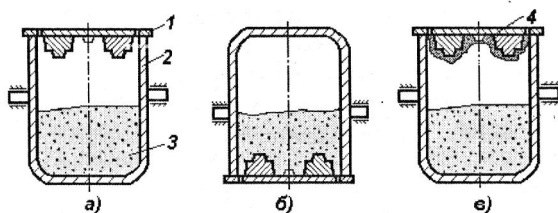


Рисунок 2.4 – Изготовление оболочковой формы

Так же изготавливают вторую полуформу, затем половинки собирают, скрепляя струбцинами или склеивая. Чтобы оболочка преждевременно не разрушилась, формы помещают в контейнер и засыпают сухим песком. При заливке смола начинает выгорать, форма постепенно рассыпается, но металл уже успевает затвердеть.

Достоинствами этого способа являются высокая точность размеров (припуски – десятые доли мм) и чистота поверхности, высокая газопроницаемость форм. Расход формовочных материалов составляет всего 5 % от расхода при литье в сырые песчаные формы.

К недостаткам надо отнести то, что смола – дорогой материал, кроме того, при литье выделяются токсичные газы. Вес отливок ограничен примерно 100 кг – большую массу жидкого металла форма не может удержать.

Способ применяется для любых сплавов.

2.5 Литьё по выплавляемым моделям

Модель отливки, показанной на рисунке 2.5, а, делают из смеси легкоплавких веществ (например, по 50 % парафина и стеарина). Смесь плавится при 80 °С, размягчается при 60 °С.

Подогретый модельный состав заливают или запрессовывают в металлическую пресс-форму (рисунок 2.5, б). После охлаждения модели (рисунок 2.5, в) вынимают из пресс-форм и собирают в блоки с одной литниковой системой на несколько моделей, нагревая место соединения паяльником (рисунок 2.5, г). Блок может включать до сотни моделей. Литники для прочности можно армировать проволокой.

Собранный модельный блок погружают в керамическую суспензию из кварцевого песка и гидролизованного раствора этилсиликата в этиловом спирте, затем обсыпают сухим песком и сушат. На поверхности модели образуется керамическая оболочка. Операцию повторяют 3–4 раза, пока не получится корочка толщиной примерно 8 мм (рисунок 2.5, д).

Затем модельный состав из оболочки выплавляют горячим паром или водой, собирают и используют снова. Оболочку прокаливают при 850 °С, предварительно установив её в опоку и засыпав песком. Корочка становится прочной.

Заливают расплавленный металл. При извлечении отливки корочка разрушается, но для полной очистки поверхности применяют щётки.

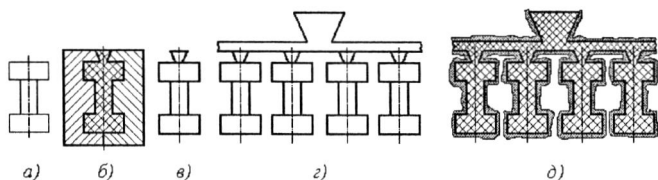


Рисунок 2.5 – Изготовление литейной формы методом выплавляемых моделей

Достоинства этого способа: очень высокая точность размеров (припуски – сотые доли мм), благодаря отсутствию разъёма формы и стержней. Отливки не требуют механической обработки, кроме шлифования рабочих поверхностей.

Недостатком является высокая трудоёмкость изготовления и стоимость отливок (примерно в 10 раз дороже литья в песчаные формы).

Литьё по выплавляемым моделям применяется для мелких и сложных по форме отливок, особенно из дорогих легированных сталей и сплавов: жаропрочных, инструментальных. Способ позволяет экономить металл (общая литниковая система для множества отливок), получать точные отливки из труднообрабатываемых материалов.

2.6 Литье в металлические формы

Литье в металлические формы (кокили) получило большое распространение. Этим способом получают более 40% всех отливок из алюминиевых и магниевых сплавов, отливки из чугуна и стали.

Схема получения отливок в кокиле представлена на рисунок 2.6.

Рабочую поверхность кокиля с вертикальной плоскостью разъема, состоящую из поддона 1, двух симметричных полуформ 2 и 3 и металлического стержня 4, предварительно нагретую до 150...180 °С покрывают из пульверизатора 5 слоем огнеупорного покрытия (рисунок 2.6, а) толщиной 0,3...0,8 мм. Покрытие предохраняет рабочую поверхность кокиля от резкого нагрева и схватывания с отливкой.

Покрытия готовят из огнеупорных материалов (тапок, мел, графит), связующего материала (жидкое стекло) и воды.

Затем устанавливают песчаный стержень 6, с помощью которого в отливке выполняется полость (рисунок 2.6, б).

Половинки кокиля соединяют и заливают расплав. После затвердевания отливки 7 (рисунок 2.6, в) и охлаждения ее до температуры выбивки кокиль раскрывают (рисунок 2.6, г) и отливка 7 удаляется.

Отливки простой конфигурации изготавливают в неразъемных кокилях, несложные отливки с небольшими выступами и впадинами на наружной поверхности – в кокилях с вертикальным разъемом. Крупные, простые по конфигурации отливки получают в кокилях с горизонтальным разъемом. При изготовлении сложных отливок применяют кокили с комбинированным разъемом.

Для удаления воздуха и газов по плоскости разъема прорезают вентиляционные каналы.

Все операции технологического процесса литья в кокиль механизированы и автоматизированы.

Литье в кокиль применяют в массовом и серийном производствах для изготовления отливок из чугуна, стали и сплавов цветных металлов с толщиной стенки 3...100 мм, массой от нескольких граммов до нескольких сотен килограммов.

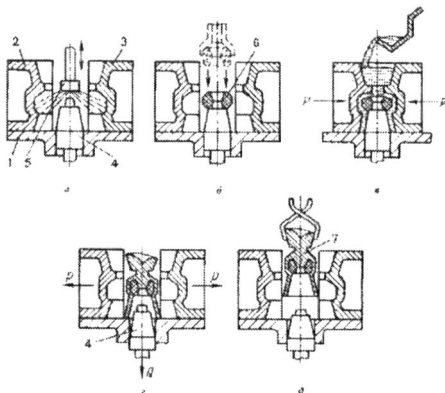


Рисунок 2.6 – Технологические операции изготовления отливки в кокиль

Недостатки кокильного литья: высокая трудоемкость изготовления кокилей, их ограниченная стойкость, трудность изготовления сложных по конфигурации отливок.

2.7 Литьё под давлением

Это разновидность литья в металлические формы (кокильного), при котором заполнение формы расплавом и кристаллизация отливки происходит под давлением.

Машины для литья под давлением имеют сложную конструкцию.

Можно подразделить их на три группы:

1) Машины с холодной горизонтальной камерой прессования (рисунок 2.7)

Порция металла заливается в камеру прессования 1, затем расплав заполняет пресс-форму 3 под давлением плунжера 2. После затвердевания отливки форма раскрывается, и отливка выталкивается при помощи толкателей 5. Половинки формы снова соединяются, и цикл повторяется. Для образования полости в отливке применяют

металлический стержень 4. Давление поршня на жидкий металл составляет до 200 МПа.

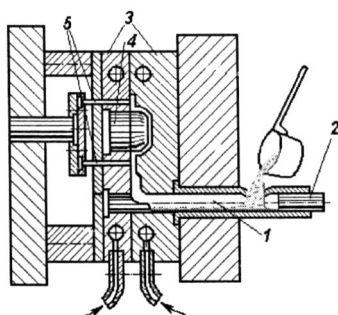


Рисунок 2.7 – Машина для литья под давлением с холодной горизонтальной камерой прессования

2) Машины с холодной вертикальной камерой прессования

3) Машины с горячей вертикальной камерой прессования

(рисунок 2.8)

Камера прессования 1 расположена в обогреваемом тигле и окружена расплавленным металлом, который попадает в камеру через отверстия 2 при ходе плунжера 3 вверх. Ход плунжера вниз заставляет расплав под давлением устремляться в пресс форму 4.

Преимущества литья под давлением: способ высокоточный. Позволяет получать тонкостенные отливки (минимальная толщина стенки 0,8 мм) даже из сплавов с плохой жидкотекучестью. Машины для литья под давлением работают с высокой производительностью, полностью автоматизированы. При этом создаются хорошие санитарно гигиенические условия труда, по сравнению с другими способами литья.

К недостаткам надо отнести то, что в массивных частях отливок возможна пористость: из-за большой скорости кристаллизации газы, растворённые в металле, выйти не успевают. Нужно вакуумировать расплав или применять другие способы дегазации.

При заполнении пресс-форм для крупных отливок возникает гидравлический удар; в результате форма может разойтись, и выплеснуть расплав через щели. Поэтому масса отливок ограничена.

Литьё на машинах с холодной камерой прессования применяют для медных и алюминиевых сплавов, с горячей – для сплавов магния и цинка.

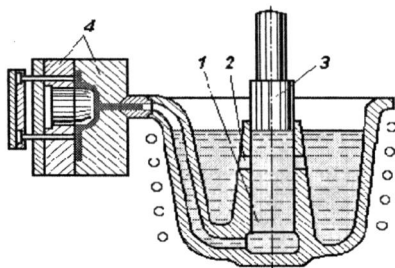


Рисунок 2.8 – Машина для литья под давлением с горячей вертикальной камерой прессования

2.8 Центробежное литьё

При этом способе литья заливка расплава и формирование отливки идёт под действием центробежных сил. Машины для центробежного литья могут иметь горизонтальную и вертикальную ось вращения. Металл заливают во вращающиеся формы – изложницы (металлические, песчаные или оболочковые). Для лёгкости извлечения отливок форме придают небольшую конусность, при усадке сплава возникает зазор, и отливка легко вынимается.

За счёт центробежных сил расплав оттесняется к стенкам формы, и получается отливка с отверстием без применения стержней.

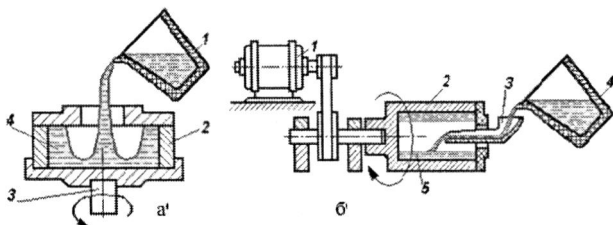
На машинах с вертикальной осью вращения (рисунок 2.9, а) можно получать отливки высотой до 500 мм, так как сила тяжести не позволяет металлу подняться высоко. При этом толщина стенок внизу больше, чем в верхней части отливки.

На машинах с горизонтальной осью вращения (рисунок 2.9, б) получают литые трубы, длиной до 12 м. Для чугунных труб это единственный способ изготовления.

Достоинства способа: отливки получаются плотными; для отверстий и полостей не нужны стержни; нет расхода металла на литники. Можно получать многослойные отливки, последовательно заливая порции разных сплавов.

Недостатками являются расслоение некоторых сплавов по удельному весу (оловянных бронз, например) и образование внутри отливки шлаковой корочки.

Форма получаемых отливок – тела вращения. Это кольца, втулки, стаканы, трубы, подшипники скольжения.



а – с вертикальной осью вращения; б – с горизонтальной осью вращения

Рисунок 2.9 – Центробежное литьё

2.9 Дефекты отливок

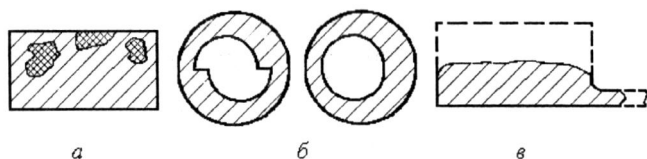
- 1) Усадочные раковины и поры;
- 2) Трещины, горячие и холодные;
- 3) Коробление;
- 4) Газовая пористость.

Все эти дефекты уже были описаны в главе о литейных свойствах сплавов. Но при изготовлении отливок возможны и некоторые другие дефекты, обусловленные несоблюдением технологии заливки и сборки форм.

1) Песчаные раковины – полости в отливке, заполненные формовочной смесью. Они образуются из-за разрушения формы струёй расплава при нарушении технологии заливки или недостаточном уплотнении формовочной смеси (рисунок 2.10, а).

2) Перекос – смещение верхней полуформы относительно нижней; причиной является небрежная сборка или износ центрирующих стержней (рисунок 2.10, б).

3) Недолив – неполное заполнение расплавом полости формы (рисунок 2.10, в).



а – песчаные раковины; б – перекос; в – недолив

Рисунок 2.10 – Некоторые дефекты отливок

Вопросы для самопроверки

1. В чём заключается сущность литья в оболочковые формы? Достоинства и недостатки метода.
2. Назовите последовательность основных операций при изготовлении отливок литьём по выплавляемым моделям.
3. В чём состоит сущность литья в кокиль? Достоинства и недостатки метода.
4. В чём заключается сущность и каковы особенности центробежного литья? Достоинства и недостатки метода.
5. В чём особенности изготовления отливок литьём под давлением?
6. Почему при непрерывном и электрошлаковом литье получают отливки с высокими механическими и эксплуатационными свойствами?
7. Назовите наиболее важные критерии, которые следует учитывать при выборе рационального способа изготовления отливок.

Тестовые задания

1. Укажите основные технологические этапы получения отливки после сборки и заливки формы расплавленным металлом

- А) Охлаждение, извлечение отливки и очистка отливки, рихтовка отливки.
- Б) Рихтовка, уплотнение формовочной смеси
- С) Уплотнение формовочной смеси.
- Д) сушка формы.

2. Виды брака при получении отливок

- А) Образование холодных и горячих трещин

- В) газовая пористость
- С) Усадочная пористость, газовая пористость, внутренние напряжения, образование холодных и горячих трещин, коробление.
- Д) коробление

3. Технологические меры предупреждения дефектов в отливках

- А) Установка внешних и внутренних холодильников, учет различной толщины стенок отливки. Проектирование прибылей. Нагрев литейной формы перед заливкой металла.
- В) Проектирование прибылей.
- С) Нагрев литейной формы.
- Д) Установка внешних и внутренних холодильников

4. Что такое литьё в кокиль?

- А) Способ получения фасонных поковок в металлических формах – кокилях;
- В) Способ получения фасонных отливок в песчано-глинистых формах – кокилях;
- С) Способ получения фасонных поковок в песчано-глинистых формах – кокилях;
- Д) Способ получения фасонных отливок в металлических формах – кокилях.

5. Что такое центробежное литьё?

- А) Способ получения отливок в металлических формах, при котором расплавленный металл под действием центробежной силы отбрасывается к стенкам формы и затвердевает, образуя отливку;
- В) Способ получения отливок в песчано-глинистых формах, при котором расплавленный металл под действием центробежной силы отбрасывается к стенкам формы и затвердевает, образуя отливку;
- С) Способ получения отливок в металлических формах, при котором расплавленный металл под действием центробежной силы отбрасывается к стенкам формы и затвердевает, образуя отливку;
- Д) Способ получения отливок в металлических формах, при котором расплавленный металл под действием центробежной силы отбрасывается к центру формы и затвердевает, образуя отливку;
- Е) Способ получения отливок в металлических формах, при котором расплавленный металл под действием центробежной силы отбрасывается к стенкам формы и затвердевает, образуя отливку.

6. Что такое литьё под давлением?

А) Способ получения поковок, максимально приближающий масштаб и объём отливок к размерам и площади готовых поковок, что позволяет исключить их последующую механическую обработку;

В) Способ получения отливок, максимально приближающий размеры и форму отливок к размерам и форме готовой детали, что позволяет уменьшить или совсем исключить их последующую механическую обработку;

С) Способ получения поковок, максимально приближающий размеры и форму поковок к размерам и форме готовой детали, что позволяет уменьшить или совсем исключить их последующую механическую обработку;

Д) Способ получения отливок, максимально приближающий масштаб и площадь отливок к размерам и форме готовой детали, что позволяет исключить их последующую механическую обработку.

7. Что такое литьё по выплавляемым моделям?

А) Способ получения фасонных отливок в разъёмной горячей и негасительной оболочковой форме, рабочая полость которой образована удалением литейной модели выжиганием;

В) Способ получения фасонных отливок в неразъёмной холодной и негасительной оболочковой форме, рабочая полость которой образована удалением литейной модели растворением;

С) Способ получения фасонных отливок в неразъёмной горячей и гасительной оболочковой форме, рабочая полость которой образована удалением литейной модели выплавлением;

Д) Способ получения фасонных отливок в неразъёмной горячей и негасительной металлической форме, рабочая полость которой образована удалением литейной модели охлаждением;

Е) Способ получения фасонных отливок в неразъёмной горячей и негасительной оболочковой форме, рабочая полость которой образована удалением литейной модели выжиганием, растворением или выплавлением в горячей воде.

2.10 Обработка металлов давлением

Обработка металлов давлением (ОМД) – это процессы получения заготовок и деталей машин из металлов методами пластического деформирования.

До 90 % металлических изделий в процессе изготовления подвергаются обработке давлением. Уровень использования

обработки давлением в машиностроении определяет уровень этой отрасли в целом.

Продукция кузнечно-прессового производства включает как самые тяжелые и сложные изделия – роторы турбогенераторов, корпуса реакторов – так и мелкие товары повседневного спроса: гвозди, крепеж, аэрозольные баллончики, заклепки и пуговицы.

Все это объясняется преимуществами ОМД перед другими видами обработки:

- 1) при обработке давлением расход металла минимален;
- 2) производительность высокая (особенно важно в массовом производстве – автомобилей, сельхозтехники, товаров народного потребления);
- 3) достаточно высокая точность размеров и качество поверхности;
- 4) обработка давлением улучшает структуру и повышает механические характеристики металла.

Ответственные детали – колеса и оси железнодорожных вагонов, роторы турбин – обязательно подвергаются обработке давлением.

2.10.1 Физические основы ОМД

Обработка металлов давлением возможна благодаря уникальной способности металлов к пластической деформации, то есть к изменению формы металла без разрушения.

Под действием нагрузки в металле возникают напряжения.

Растущее напряжение вызывает в металле вначале упругую деформацию, затем пластическую и, наконец, разрушение.

Упругая деформация – обратимая. Атомы смещаются из положений равновесия, а после снятия нагрузки возвращаются на свои места. Упругая деформация исчезает после снятия нагрузки.

Пластическая деформация остается после снятия нагрузки. Атомы смещаются на значительные расстояния и занимают новые устойчивые положения. Слои металла смещаются относительно друг друга, идет скольжение слоев.

При достижении некоторой величины напряжения происходит разрыв межатомных связей, зарождается и растет трещина – происходит разрушение.

В процессе обработки металлов давлением необходимо достичь напряжения, достаточного для начала пластической деформации, но ни в коем случае не превысить величину напряжения, при котором начинается разрушение. Для каждого металла и сплава напряжение пластического течения свое. Оно называется пределом текучести и обозначается σ_T , или $\sigma_{0.2}$. Максимальное напряжение, которое металл

выдерживает, не разрушаясь, называется пределом прочности и обозначается σ_v . Обе эти величины приводятся в справочниках. Рабочие напряжения в процессе ОМД должны быть выше предела текучести, но ниже предела прочности: $\sigma_T < \sigma < \sigma_v$.

2.10.2 Законы пластической деформации

1) Закон постоянства объёма: Объём тела до деформации равен его объёму после деформации. Используется для определения размеров заготовок.

2) Закон наименьшего сопротивления: Каждая точка деформируемого тела перемещается в направлении наименьшего сопротивления. Используется для определения формы изделия после обработки давлением.

3) Закон сдвигающего напряжения: Пластическая деформация начнется только тогда, когда сдвигающие напряжения, в деформируемом теле достигнут определенной величины, зависящей от природы тела и условий деформирования. Используется при расчетах необходимого усилия, или мощности оборудования.

2.10.3 Холодная и горячая пластическая деформация

При нагреве сопротивление металла деформации значительно снижается, т. е. уменьшается предел текучести. Для успешной обработки давлением необходимо точно знать, до каких температур нагревать металл.

Существует определённая температура, своя для каждого металла и сплава, называемая температурой рекристаллизации T_p . Она тоже имеется в справочниках, но её можно определить, зная температуру плавления $T_{пл}$, по формулам:

$$T_p = 0.4 \cdot T_{пл} \text{ — для металлов ,}$$

$$T_p = (0,6 \div 0,7) \cdot T_{пл} \text{ — для сплавов.}$$

Внимание: $T_{пл} = t_{пл} + 273$. (T – температура в кельвинах, t – в градусах Цельсия.)

Температура рекристаллизации является границей между областями горячей и холодной деформации. Деформация при температурах ниже t_p называется холодной, а выше t_p – горячей.

Значения t_p для некоторых материалов: чистое железо – 450 °С, углеродистая сталь – 550-650 °С, медь – 270 °С.

В результате холодной пластической деформации искажается кристаллическая структура металла; зёрна, из которых он состоит,

вытягиваются в одном направлении; возрастает прочность и снижается пластичность. Это явление называется наклёп. Деформировать наклепанный металл труднее, нужны большие усилия, более мощное оборудование. Поэтому холодная пластическая деформация применяется реже, только для самых пластичных металлов или заготовок малого сечения (листы, проволока). Волочение и листовая штамповка обычно осуществляются в холодную. При этом достигается высокая точность размеров и чистота поверхности. Есть возможность влиять на свойства изделия за счёт разной степени наклепа.

При горячей пластической деформации наклёп не возникает, т. е. металл не упрочняется. Сопротивление металла при горячей пластической деформации примерно в 10 раз меньше, чем при холодной. Поэтому можно получить большую величину деформации. Но в процессе нагрева на металле образуется окалина (слой оксидов), что снижает качество поверхности и точность размеров. Прокатка, ковка, прессование, объёмная штамповка обычно выполняются как горячая обработка давлением.

2.10.4 Температурный режим ОМД

Для осуществления горячей деформации надо и начинать, и заканчивать обработку выше температуры рекристаллизации. В процессековки или прокатки металл непрерывно остывает, и важно не дать ему остыть ниже t_p . Поэтому для каждого металла и сплава определяют температурный интервал обработки давлением: температуру начала и окончания горячей деформации.

Температура начала деформации должна быть на 100–200° ниже температуры плавления. При нарушении этого правила (завышении температуры) возможен брак: перегрев – рост зерна в металле заготовки сверх допустимых значений, и даже пережог – окисление границ зерен. Последний вид брака неисправим.

Температура окончания деформации должна на 50–100° превышать температуру рекристаллизации, чтобы не допустить упрочнения.

Температурные интервалы ОМД: углеродистые стали – 1200–900 °С, медь – 1000–800 °С, бронза – 900–700 °С.

Заготовки, особенно крупные, должны нагреваться медленно, чтобы напряжения, возникающие из-за разности температур в центре и на поверхности, не привели к появлению трещин.

Иногда, чтобы избежать образования окалины, нагрев ведут в защитных атмосферах.

2.10.5 Классификация видов обработки металлов давлением



Рисунок 2.11 – Классификация видов обработки металлов давлением

Машиностроительный профиль – это длинномерное изделие с определенной формой поперечного сечения. Длина профиля значительно больше поперечных размеров. Примеры профилей: рельсы, балки, прутки, трубы, проволока.

2.11 Прокатное производство

Прокатка – способ получения изделий при пластическом деформировании нагретой заготовки между вращающимися валками. При этом силы трения между валками и заготовкой втягивают ее в межвалковый зазор, а нормальные силы, перпендикулярные к поверхности валков, производят работу деформации.

Схемы прокатки.

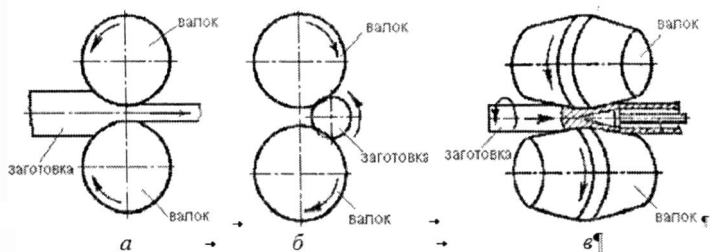
1) Продольная прокатка: заготовка движется поступательно, перпендикулярно осям валков, валки вращаются в разные стороны (рисунок 2.12, а);

2) Поперечная прокатка: оси валков и заготовки параллельны, валки вращаются в одну сторону, а заготовка – в противоположную (рисунок 2.12, б);

3) Поперечно-винтовая прокатка: валки вращаются в одну сторону, заготовка одновременно вращается в противоположном направлении и движется поступательно между валками (рисунок 2.12, в).

Деформация и силы при прокатке.

Объем металла, в котором в данный момент происходит пластическая деформация, называется очагом деформации.



а – продольная; б – поперечная; в – поперечно-винтовая

Рисунок 2.12 – Схемы прокатки

На рисунке 2.13 показано сечение ABCD очага деформации плоскостью чертежа. По мере вращения валков очаг деформации перемещается по прокатываемому металлу.

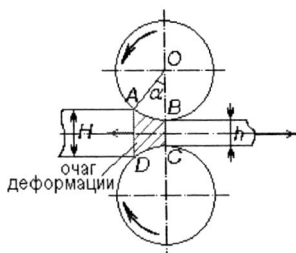


Рисунок 2.13 – Очаг деформации при прокатке

Дуга АВ, по которой валок соприкасается с металлом заготовки, называется дугой захвата, а угол α между радиусами вала, опирающийся на дугу захвата, – углом захвата.

На заготовку действует сила трения T , направленная по касательной к окружности вала, – она втягивает заготовку в зазор (рисунок 2.14). Нормальная реакция опоры N , направленная по радиусу, выталкивает заготовку. Для того чтобы заготовка втягивалась в зазор, должно выполняться условие $T_x > N_x$, т. е.

$$T \cdot \cos \alpha > N \cdot \sin \alpha$$

сила трения $T = N \cdot k_{тр}$, следовательно

$$N \cdot k_{TP} \cdot \cos \alpha > N \cdot \sin \alpha$$

$$k_{TP} > \operatorname{tg} \alpha$$

Условие захвата металла валками: коэффициент трения между валками и заготовкой должен превышать тангенс угла захвата.

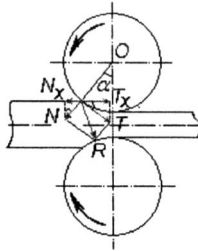


Рисунок 2.14 – К расчету условия захвата

Тогда силы трения будут втягивать заготовку в межвалковый зазор, и прокатка пойдет. В противном случае валки будут отталкивать заготовку.

При горячей прокатке стали угол захвата составляет от 15 до 24°, а при холодной – от 3 до 8°. Это значит, что при горячей прокатке можно уменьшить высоту заготовки H на большую величину, чем при холодной, так как силы трения при горячей деформации больше.

Деформацию при прокатке определяют двумя величинами: относительным обжатием ε и коэффициентом вытяжки μ .

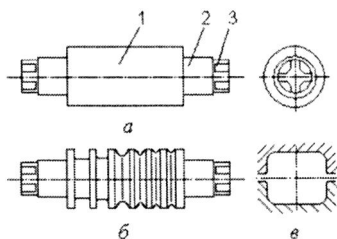
Инструмент для прокатки.

Инструмент для прокатки – это валки (рисунок 2.15). Рабочая часть валка называется бочкой, шейки служат для опоры на подшипники, фасонный выступ, называемый трейфой, – для передачи валку вращения от привода. Валки парный инструмент: клеть прокатного стана состоит из двух или более валков (но не одного).

В зависимости от формы рабочей части валки могут быть гладкими (рисунок 2.15, а), ступенчатыми и ручьевыми (рисунок 2.15, б). Гладкие валки служат для прокатки листа. У ручьевых валков на боковой поверхности имеются вырезы – ручки. При смыкании пары валков их ручки образуют просвет определенной формы – калибр (рисунок 2.15, в). Поперечное сечение

прокатываемой заготовки принимает форму калибра. Такие валки служат для получения сортового проката.

Изображенный на рисунке 2.15, в, калибр называется открытым, так как линия разъема валков проходит через калибр; в противном случае (линия разъема валков вне калибра) калибр закрытый.



1 – бочка; 2 – шейка; 3 – трефа; гладкий (а) и ручьевой (б); в – калибр

Рисунок 2.15 – Валки

Оборудование для прокатки.

Комплект валков со станиной образует рабочую клеть. Рабочая клеть с передаточным механизмом и электродвигателем – это рабочая линия прокатного стана. Передаточный механизм состоит из редуктора, шестеренной клетки, шпинделей и муфт.

По количеству валков клетки прокатных станов могут быть двухвалковые (дуо), трёхвалковые (трио), четырёхвалковые (кварто) и многовалковые.

По числу рабочих клеток станы могут быть одно- и многоклетьевыми. Наиболее современные – многоклетьевые непрерывные станы. На них полоса металла одновременно прокатывается в нескольких клетях.

Исходной заготовкой для получения всех видов проката служат слитки, которые на обжимных станах прокатываются на блюмы или слябы. Затем блюмы поступают на заготовочные станы, а оттуда – на сортовые или трубные станы. Из слябов на листовых станах прокатывают листы. Периодический прокат изготавливают из полупродуктов соответствующего сечения, а штучные заготовки (кольца, колеса) – из отдельных литых или штампованных заготовок. Шары получают из прутков.



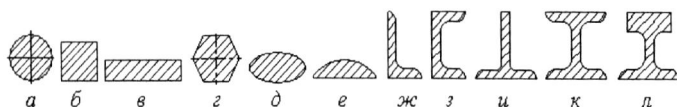
Рисунок 2.16 – Виды прокатных станов

Продукция прокатного производства.

Все многообразие профилей проката называется сортаментом.

Сортамент делится на четыре группы:

1) Сортовой прокат – простые и фасонные профили (рисунок 2.17).



а – круг; б – квадрат; в – полоса; г – шестигранник; д – овальная сталь; е – сегментная сталь; ж – уголок; з – швеллер; и – тавровая балка; к – двутавровая балка; л – рельс

Рисунок 2.17 – Профили сортowego проката

2) Листовой прокат – толстый лист (толщиной свыше 4 мм), тонкий лист (менее 4 мм) и фольги (менее 0,2 мм). Максимальная толщина может составлять 160 мм (броневые плиты).

По назначению листовой прокат делится на автотракторную листовую сталь, электротехническое, трансформаторное железо, кровельную жесть и т. д. Листы могут быть покрыты цинком, оловом, алюминием, пластиком.

3) Трубы – бесшовные (диаметр от 30 до 650 мм, толщина стенки от 2 до 160 мм) и сварные (диаметр от 5 до 2500 мм, толщина стенки от 0,5 до 16 мм).

4) Специальные виды проката: кольца, шары, шестерни, колеса,

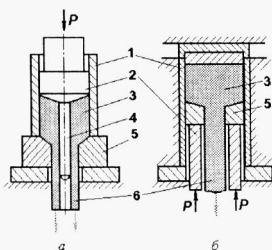
периодический прокат. Периодический прокат используют для получения штампованных поковок и обработки деталей резанием с минимальными отходами.

2.12 Прессование

Прессование – процесс получения изделий путем выдавливания нагретого металла из замкнутой полости (контейнера) через отверстие инструмента (матрицы). Существуют два способа прессования: прямой и обратный. При прямом прессовании (рисунок 2.18, а) металл выдавливается в направлении движения пуансона. При обратном прессовании (рисунок 2.18, б) металл движется из контейнера навстречу движению пуансона.

Исходной заготовкой для прессования является слиток или горячекатаный пруток. Для получения качественной поверхности после прессования заготовки обтачивают и даже шлифуют.

Нагрев ведется в индукционных установках или в печах-ваннах в расплавах солей. Цветные металлы прессуются без нагрева.



1 – контейнер; 2 – пуансон; 3 – заготовка; 4 – игла; 5 – матрица; 6 – профиль

Рисунок 2.18 – Прессование прямое (а) и обратное (б)

Деформация при прессовании.

При прессовании реализуется схема всестороннего неравномерного сжатия, при этом нет растягивающих напряжений. Поэтому прессовать можно даже стали и сплавы с низкой пластичностью, например, инструментальные. Даже такие хрупкие материалы как мрамор и чугун поддаются прессованию. Т. е. прессованием можно обрабатывать материалы, которые из-за низкой пластичности другими методами деформировать невозможно.

Коэффициент вытяжки μ при прессовании может достигать 30–50.

Инструмент для прессования.

Инструмент – это контейнер, пуансон, матрица, игла (для получения полых профилей). Профиль получаемого изделия определяется формой отверстия матрицы; отверстия в профиле – иглой. Условия работы инструмента очень тяжелые: большие контактные давления, истирание, нагрев до 800–1200 °С. Его изготавливают из высококачественных инструментальных сталей и жаропрочных сплавов.

Для уменьшения трения применяют твердые смазки: графит, порошки никеля и меди, дисульфид молибдена.

Оборудование для прессования.

Это гидравлические прессы, с горизонтальным или вертикальным расположением пуансона.

Продукция прессования.

Прессованием получают простые профили (круг, квадрат) из сплавов с низкой пластичностью и профили очень сложных форм, которые нельзя получить другими видами ОМД (рисунок 2.19).

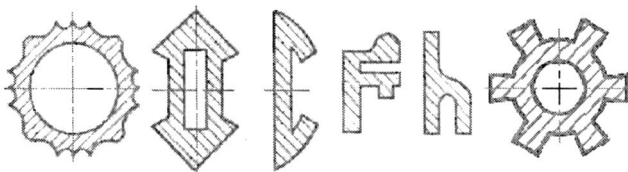


Рисунок 2.19 – Прессованные профили

Преимущества прессования.

Точность прессованных профилей выше, чем прокатанных. Как уже говорилось, можно получать профили самых сложных форм. Процесс универсален с точки зрения перехода с размера на размер и с одного типа профиля на другой. Смена инструмента не требует больших затрат времени.

Возможность достижения очень высоких степеней деформации делает этот процесс высокопроизводительным. Скорости прессования достигают 5 м/с и более. Изделие получается за один ход инструмента.

Недостатки прессования.

Большой отход металла в пресс-остаток (10–20 %), так как весь металл не может быть выдавлен из контейнера;

неравномерность деформации в контейнере; высокая стоимость и большой износ инструмента; необходимость мощного оборудования.

2.13 Волочение

Волочение – изготовление профилей путем протягивания заготовки через постепенно сужающееся отверстие в инструменте – волоке.

Исходной заготовкой для волочения является пруток, толстая проволока или труба. Заготовка не нагревается, т. е. волочение – это холодная пластическая деформация.

Конец заготовки заостряется, его пропускают сквозь волоку, захватывают зажимным устройством и протягивают (рисунок 2.20).

Деформация при волочении.

При волочении на заготовку действуют растягивающие напряжения. Металл должен деформироваться только в сужающемся канале волоки; за пределами инструмента деформация недопустима. Обжатие за один проход небольшое: вытяжка $\mu = 1,1 \dots 1,5$. Для получения нужного профиля проволока протягивается через несколько отверстий уменьшающегося диаметра.

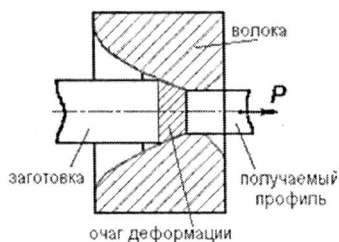


Рисунок 2.20 – Схема волочения

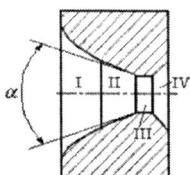
Так как осуществляется холодная деформация, то металл наклепывается – упрочняется. Поэтому между протягиваниями через соседние волоки выполняется отжиг (нагрев выше температуры рекристаллизации) в трубчатых печах. Наклеп снимается, и металл заготовки снова становится пластичным, способным к дальнейшей деформации.

Инструмент для волочения.

Инструмент – это волока, или фильера, представляющая собой кольцо с профилированным отверстием. Изготавливают волоки из твердых сплавов, керамики, технических алмазов (для очень тонкой

проволоки, диаметром менее 0,2 мм). Трение между инструментом и заготовкой уменьшают с помощью твердых смазок. Для получения полых профилей применяют оправки.

Рабочее отверстие волоки имеет по длине четыре характерные зоны (рисунок 2.21).



I – входная, или смазочная; II – деформирующая, или рабочая, с углом $\alpha = 8 \dots 24^\circ$; III калибрующая; IV – выходной конус.

Рисунок 2.21 – Волока

Оборудование для волочения.

Существуют волочильные станы различных конструкций – барабанные, реечные, цепные, с гидравлическим приводом и др.

Волочением получают проволоку диаметром от 0,002 до 5 мм, а также прутки, фасонные профили (различные направляющие, шпонки, шлицевые валики) и трубы (рисунок 2.22).

Преимущества волочения.

Это высокая точность размеров (допуски не более сотых долей мм), малая шероховатость поверхности, возможность получать тонкостенные профили, высокая производительность, малое количество отходов. Процесс универсален (просто и быстро можно заменить инструмент), поэтому широко распространен.



Рисунок 2.22 – Профили, получаемые волочением

Важно также, что можно изменять свойства получаемых изделий за счет наклепа и термообработки.

Недостатки волочения.

Неизбежность наклепа и необходимость отжигов усложняет процесс.

2.14 Ковка

Ковкой называют получение изделий путем последовательного деформирования нагретой заготовки ударами универсального инструмента – бойков. Получаемую заготовку или готовое изделие называют поковкой (рисунок 2.23). Исходной заготовкой служат слитки или блюмы, сортовой прокат простого сечения. Нагревают заготовки обычно в печах камерного типа.

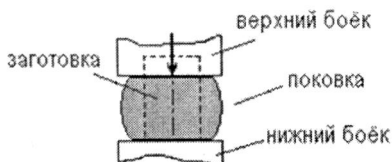


Рисунок 2.23 – Схема ковки

Деформация при ковке.

Деформация в процессе ковки идет по схеме свободного пластического течения между поверхностями инструмента. Деформирование может выполняться последовательно на отдельных участках заготовки, поэтому её размеры могут значительно превышать площадь бойков.

Величину деформации выражает уковка:

$$y = \frac{F_n}{F_k}, \quad (2.4)$$

где F_n и F_k – начальная и конечная площадь поперечного сечения заготовки.

Берется отношение большей площади к меньшей, поэтому уковка всегда больше 1. Чем больше значение уковки, тем лучше прокован металл. Некоторые из операций ковки показаны на рисунке 2.24.

Инструмент для ковки.

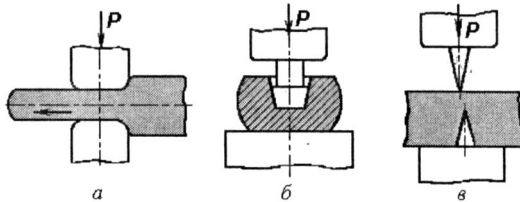
Инструмент является универсальным (применимым для самых разных по форме поковок): бойки плоские или вырезные и набор подкладного инструмента (оправок, прожимок, прошивней и т. д.).

Оборудование для ковки.

Применяются машины динамического, или ударного, действия – молоты и машины статического действия – гидравлические прессы.

Молоты подразделяются на пневматические, с массой падающих частей до 1 т, и паровоздушные, с массой падающих частей до 8 т. Молоты передают заготовке энергию удара за доли секунды. Рабочим телом в молотах является сжатый воздух или пар.

Гидравлические прессы с усилием до 100 МН предназначены для обработки самых тяжелых заготовок. Они зажимают заготовку между бойками в течение десятков секунд. Рабочим телом в них является жидкость (водная эмульсия, минеральное масло).



а – протяжка; б – прошивка (получение отверстия); в – рубка (разделение на части)

Рисунок 2.24 – Операцииковки

Применениековки.

Ковка чаще всего применяется в единичном и мелкосерийном производстве, особенно для получения тяжелых поковок. Из слитков весом до 300 т можно получить изделия только ковкой. Это валы гидрогенераторов, турбинные диски, коленчатые валы судовых двигателей, валки прокатных станов.

Преимуществаковки.

Это, прежде всего, универсальность процесса, позволяющая получить самые разнообразные изделия. Дляковки не требуется сложного инструмента. В ходековки улучшается структура металла: волокна в поковке расположены благоприятно для того, чтобы выдерживать нагрузку при эксплуатации, литая структура измельчается.

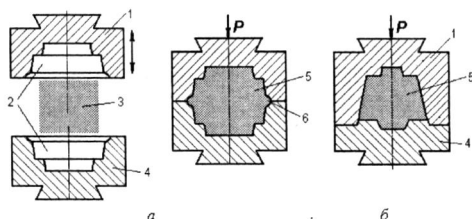
Недостаткиковки.

Это низкая производительность процесса и необходимость значительных припусков на механическую обработку. Поковки получаются с низкой точностью размеров и большой шероховатостью поверхности.

2.15 Горячая объемная штамповка

Горячая объёмная штамповка – процесс получения изделий пластическим деформированием нагретой заготовки с помощью специального инструмента – штампа. При этом течение металла ограничено углублениями, выполненными в половинках штампа, которые, смыкаясь, образуют единую замкнутую полость – ручей.

Исходная заготовка для штамповки – раскroенный прокат простого профиля. Получаемое изделие называется штампованной поковкой.



1 – верхняя половина штампа; 2 – полости; 3 – заготовка; 4 – нижняя половина штампа; 5 – ручей; 6 – облойная канавка

Рисунок 2.25 – Схема открытой (а) и закрытой (б) объемной штамповки

Применяется штамповка в открытых и закрытых штампах. У открытого штампа (рисунок 2.25, а) по всему периметру ручья есть зазор – облойная канавка, куда вытесняется излишек металла (до 20 %). Поверхность разреза штампа плоская. При штамповке не требуется высокая точность раскроя заготовки. Объем заготовки больше объема поковки на величину облоя, который затем обрезается. Узкий мостик облойной канавки гарантирует заполнение всей полости штампа металлом, так как он создает наибольшее сопротивление течению металла.

При штамповке в закрытых штампах (рисунок 2.25, б) объем заготовки равен объему поковки, так как облойной канавки нет. Необходимо точно выдерживать размеры заготовки и устанавливать ее строго по центру штампа, иначе половинки штампа не сомкнутся, не будет заполнения всей полости. Поверхность разреза штампа более сложная, с направляющей конической частью.

Закрытая штамповка имеет преимущества перед открытой: экономится металл (нет облоя), и волокна расположены более благоприятно, обтекая контур поковки, они не перерезаются при удалении облоя.

Но конструкция закрытых штампов сложнее, изготовление их дороже, а стойкость ниже.

Деформация при штамповке.

Деформация осуществляется одновременно по всей поверхности заготовки, нельзя деформировать только ее часть. Поэтому величина уковки редко превышает 2–3.

Инструмент для штамповки.

Инструмент специальный – штамп. Для каждой поковки разрабатывается чертеж, и изготавливается свой штамп. Обязательно предусматриваются припуски на механическую обработку и на усадку при охлаждении. Для свободного извлечения поковки из штампа назначаются уклоны (3–10°). Поверхности сопрягаются по радиусам.

В штампе с одним разъемом нельзя получить сквозное отверстие, оно только намечается. После штамповки надо в специальных штампах обрезать облой и пробивать отверстия.

Оборудование для штамповки.

1) Паровоздушные штамповочные молоты подобны ковочным. Молоты совершают 3–5 ударов для заполнения полости штампа металлом заготовки;

2) Кривошипные штамповочные прессы (КШП) имеют более высокую производительность, чем молоты. Штамповка ведется за один удар, так как длина хода ползуна строго регламентирована. Прессы дороже;

3) Горизонтально-ковочные машины (ГКМ) применяются для штамповки изделий типа стержень с фланцем, стакан, кольцо. На них можно получать сквозные отверстия, так как штамп состоит из трех частей: подвижной и неподвижной матрицы и пуансона;

4) Гидравлические прессы применяют для самых тяжелых поковок (до 3 т).

Применение штамповки.

В крупносерийном производстве поковок.

Преимущества штамповки.

По сравнению с ковкой штамповка обеспечивает большую производительность

Недостатки штамповки.

Высокая стоимость инструмента и необходимость большой мощности оборудования. Штамповка не позволяет деформировать очень тяжелые заготовки (весом десятки и сотни тонн).

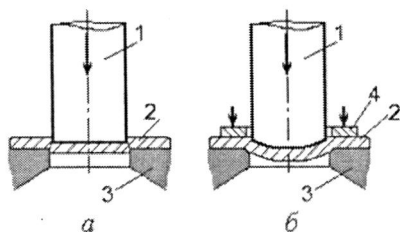
2.16 Холодная листовая штамповка

Холодная листовая штамповка – это получение плоских и пространственных изделий из заготовки в виде листа, полосы, ленты.

Исходная заготовка обычно имеет толщину не более 10 мм.

Операции листовой штамповки делятся на разделительные (заготовка разрушается) и формообразующие (разрушение недопустимо).

Примерами разделительных операций являются вырубка и пробивка. Они выполняются по одной схеме (рисунок 2.26, а), но вырубка формирует внешний периметр заготовки, а пробивка – внутренний. Штмп состоит из пуансона и матрицы. От их острых кромок начинается развитие трещин.



1 – пуансон; 2 – заготовка; 3 – матрица; 4 – прижим

Рисунок 2.26 – Схема пробивки (а) и вытяжки (б)

Деформация при холодной листовой штамповке.

Холодная листовая штамповка применима только к пластичным металлам и сплавам: низкоуглеродистым сталям, сплавам алюминия, меди, титана.

Инструмент для холодной листовой штамповки.

Инструмент специальный для каждой операции и размера изделия. Это матрицы и пуансоны соответствующей формы.

Оборудование для холодной листовой штамповки.

Используются кривошипные прессы и гидравлические прессы (для толстых листов). Краткая характеристика способов обработки металлов давлением дана в таблице 1.

Таблица 1 – Способы ОМД

Название	Где происходит деформация	Инструмент	Оборудование	Заготовка	Нагрев	Величина деформации	Получаемые изделия
Получение профилей							
Прокатка	В зазоре между валками	Валки	Прокатный стан	Слиток, bloom, полупродукт	Обычно горячая деформация	$\mu \leq 2$	Сортовой прокат, листы, трубы, специальные виды проката
Волочение	В отверстиях волоки	Волока	Волочильный стан	Прутки, труба, горячекатаная проволока	Холодная деформация	$\mu \leq 1,5$	Проволока, калиброванные прутки и трубы, фасонные
Прессование	В отверстиях матрицы	Матрица, игла	Гидравлический пресс	Слиток, горячекатаный прутки	Обычно горячая деформация	$\mu = 30 \div 50$	Простые и сложные профили,
Получение заготовок и деталей							
Ковка	Между бойками	Бойки, подкладной инструме	Молоты и прессы	Слиток, bloom, сортовой прокат простого	Горячая деформация	$U \leq 20$	Широкий ассортимент поковок весом до 300 т
Объемная штамповка	В полости штампа	Штамп	Молоты и прессы, КШП, ГКМ	Прокат простого сечения	Чаще горячая деформация	$U \leq 2 \div 3$	Поковки серийного производства
Холодная листовая штамповка	В зазоре между пуансоном и матрицей	Матрица и пуансон	КШП, гидравлический пресс	Лист, полоса, лента	Холодная деформация	-	Объемные и плоские детали с малой массой и большой прочностью

Вопросы для самопроверки

1. В чем состоит различие между упругой и пластической деформацией?
2. Как проявляется и используется анизотропия материалов?
3. На какие виды подразделяется сортовой прокат?
4. Какие валки используются для изготовления листовых материалов?
5. Для каких целей используется периодический прокат?
6. Какие операцииковки Вам известны?
7. В чем состоят основные различия обработки в открытых и закрытых штампах?

Тестовые задания

1. Виды обработки металлов давлением

- A) прокатка, прессование, строгание, ковка, штамповка;
- B) прокатка, прессование, волочение, ковка, штамповка, фрезерование;
- C) прокатка, прессование, волочение, ковка, штамповка, выдавливание;
- D) прокатка, прессование, волочение, ковка, литье;
- E) прокатка, прессование, волочение, пайка, штамповка.

2. Основные разновидности прокатки при обработке металлов давлением.

- A) продольная прокатка, поперечная прокатка, поперечно-винтовая прокатка;
- B) встречное прессование, комбинированное прессование;
- C) прокатка, прессование, волочение, ковка, литье;
- D) прокатка, прессование, волочение, пайка, штамповка;
- E) попутное прессование

3. Основные разновидности штампового производства при обработке металлов давлением.

- A) штамповка в закрытых штампах, штамповка в открытых штампах, ковка, волочение, пайка;
- B) штамповка в открытых и закрытых штампах, объемная штамповка, листовая штамповка;
- C) штамповка на ковочных вальцах, прессование, волочение, ковка, литье;

- D) Ковка, волочение, пайка;
- E) Объемная штамповка, листовая штамповка.

4. В основе обработки металлов давлением лежит способность металла подвергаться

- A) течь в расплавленном состоянии;
- B) упругому деформированию;
- C) пластическому деформированию;
- D) проводить тепло;
- E) проводить электрический ток.

5. Способы горячей штамповки

A) Формовка, обрубка, пробивка, калибровка, штамповка в открытых и закрытых штампах, штамповка в одноручьевых и многоручьевых штампах;

B) Штамповка на ковочных вальцах, прессование, волочение, ковка, литье;

C) Накатка зубчатых колес, раскатка колец, ковка на ротационно-ковочных машинах, ковка на ковочных вальцах;

D) прессование, волочение, ковка, литье;

E) ковка на ротационно-ковочных машинах, ковка на ковочных вальцах.

6. Основные операции листовой штамповки

A) пробивка, гибка, вытяжка, отбартовка, формовка, прошивка;

B) Высадка, точение;

C) Фрезерование;

D) Свободная ковка свободным бойком;

E) Разделительные и деформирующие. вырубка, пробивка, гибка, вытяжка, отбартовка, формовка.

7. Оборудование для листовой штамповки

A) кривошипно-шатунные пресса;

B) Холодновысадочные автоматы, подкладные штампы, кривошипно-шатунные пресса;

C) Фрезерные станки;

D) Гидравлические станки;

E) Кривошипно-шатунные пресса, гидравлические пресса.

2.17 Сварочное производство

Сварка – процесс получения неразъёмного соединения в результате возникновения межатомных связей между соединяемыми деталями.

Создание этих связей между атомами на поверхности соединяемых деталей требует затрат энергии, которую можно внести в зону сварки двумя путями: нагревом или пластической деформацией. Поэтому различают две группы методов сварки: сварку плавлением и сварку давлением.

При сварке плавлением атомные связи между соединяемыми деталями возникают в результате оплавления их кромок, примыкающих друг к другу, с получением общей ванны жидкого металла. При охлаждении эта ванна затвердевает и соединяет детали в единое целое.

При сварке давлением детали в зоне соединения подвергают совместной пластической деформации сжатием. При этом поверхности очищаются от загрязняющих плёнок, микрорельеф сглаживается, и возникают межатомные связи. Детали можно нагревать перед сваркой, но пластичные металлы (алюминий, медь) свариваются и без нагрева.

Возможны и комбинированные процессы, когда металл заготовок расплавляют и обжимают зону сварки.

Различают более 70 разных видов сварки: нагревать можно электрической дугой, газокислородным пламенем, лазером, прямым пропусканием тока и др. Можно по-разному защищать зону сварки от кислорода воздуха, деформировать разными способами и т. д.

Сварка применяется во всех областях техники. Сваривают не только металлы, но и стекло, пластмассу, керамику, разнородные материалы. Сварку выполняют в космосе и под водой. Основные области применения сварки: строительство, трубопроводный транспорт, машиностроение.

Электродуговая сварка это наиболее широко применяемый сегодня способ.

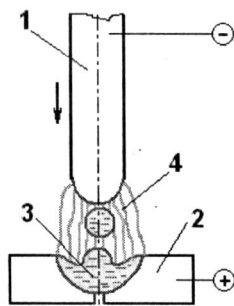
Сварочная дуга.

Сварочная дуга – это мощный стабильный электрический разряд между электродами, находящимися в среде ионизированных газов и паров.

Обычно используют дугу прямого действия, которая горит между электродом и изделием (рисунок 2.27). Нагрев идёт за счёт бомбардировки поверхности металла электрически заряженными

частицами. Косвенная дуга горит между двумя электродами, и нагрев металла осуществляется за счёт излучения дуги.

Чаще применяют плавящиеся металлические электроды, которые формируют сварной шов; неплавящимися (угольными, вольфрамовыми) пользуются сравнительно редко, так как это усложняет технологию сварки – требуется присадочный материал.



1 – электрод; 2 – свариваемое изделие; 3 – ванна жидкого металла; 4 – столб дуги

Рисунок 2.27 – Схема сварочной дуги постоянного тока

На рисунке 2.27 показана схема сварки на прямой полярности: электрод подключён к отрицательному полюсу источника тока.

Дуга зажигается коротким замыканием электрода на изделие (постукивание, «чирканье»). Микровыступы на поверхности электрода и изделия нагреваются до температуры кипения, и при отводе электрода начинается термоэлектронная эмиссия, а также автоэлектронная эмиссия (отрыв электронов от атомов под действием электрического поля высокой напряжённости). В промежутке между электродом и изделием появляются свободные электроны, они ионизируют пары металла. Поток заряженных частиц растёт лавинообразно. Электроны и отрицательно заряженные ионы движутся к аноду, а положительные ионы – к катоду. Поверхности изделия и электрода разогреваются, и через 10^{-6} с устанавливается дуга. Температура у оси столба дуги составляет 6000–8000 К. Дуга – это низкотемпературная плазма.

Зависимость напряжения дуги от силы тока при постоянной длине дуги l называется статической вольт-амперной характеристикой дуги.

2.17.1 Ручная дуговая сварка

1) Оборудование для РДС: источник питания дуги, гибкие провода (кабели), электрододержатель, электрод.

а) Источником питания дуги переменным током является сварочный трансформатор, постоянным – сварочные выпрямители и генераторы. Современные инверторные источники тока для сварки — позволяют получать на выходе как постоянный, так и переменный ток и широкий спектр вольт-амперных характеристик. В полевых условиях применяют сварочные агрегаты: генераторы с приводом от двигателя внутреннего сгорания.

Длина электродов 250–450 мм. Стандартные диаметры от 2 до 6 мм, но выпускают и больших или меньших диаметров для некоторых видов работ.

Материал электрода формирует шов, поэтому химический состав электродной проволоки должен соответствовать составу свариваемого изделия. Марки электродной проволоки обозначают: Св-08 или Св-30ХГСА, где буквы «Св» говорят о назначении проволоки – сварочная, 08 или 30 – содержание углерода в сотых долях процента, буквы Х, Г, С обозначают легирующие элементы (хром, марганец, кремний), буква А в конце марки означает, что сталь высококачественная.

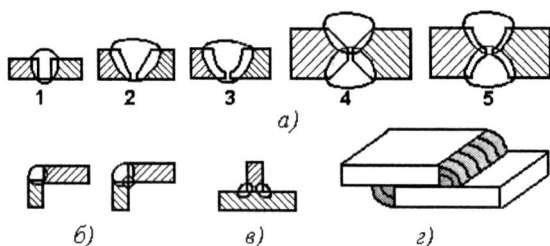
Электроды для сварки углеродистых и легированных конструкционных сталей классифицируют по механическим характеристикам металла шва, которые они обеспечивают. Тип электрода обозначается как Э38...Э150, где цифры – гарантируемый предел прочности шва в кг/мм^2 .

Напряжение дуги для большинства марок электродов и покрытий составляет 20 – 28 В.

Длина дуги поддерживается сварщиком в пределах 4–6 мм. Можно считать, что длина дуги составляет примерно $l_d = (0,5 \div 1,1) d_э$.

Виды сварных соединений показаны на рисунке 2.28.

Без разделки кромок можно сварить заготовки толщиной до 6 мм. Сварка может выполняться в различных пространственных положениях: нижнем (рисунок 2.28, а), горизонтальном (рисунок 2.28, б), вертикальном (рисунок 2.28, в), потолочном (рисунок 2.28, г).



а) стыковые (1 – без разделки кромок, 2 – V - образная разделка, 3 – U - образная разделка, 4 – X - образная разделка, 5 – U - образная двусторонняя разделка); б) угловые; в) тавровое; г) нахлесточное

Рисунок 2.28 – Сварные соединения

При ручной дуговой сварке за один проход возможна глубина проплавления не более 8 мм. Более толстые материалы сваривают за несколько проходов, шов получается многослойным.

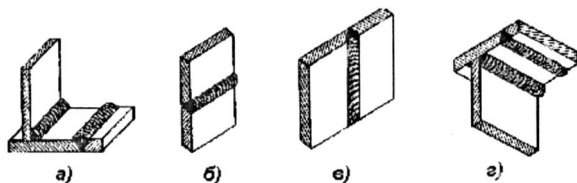


Рисунок 2.29 – Расположение шва в пространстве

2.17.2 Автоматическая дуговая сварка под флюсом (АДСФ)

Сварка ведётся под слоем флюса, непокрытой проволокой. Место стыка перед сваркой засыпают флюсом (слой толщиной 30–50 мм), и дуга горит под этим слоем. Процесс называют ещё сваркой закрытой дугой.

Схема процесса АДСФ показана на рисунке 2.30. Механизм подачи 2 обеспечивает подачу сварочной проволоки 3 в дугу 10. Проволока подключена к источнику тока через скользящий токопровод 1. Дуга закрыта слоем флюса 5. При плавлении основного металла 8 и проволоки возникает ванна жидкого металла 9, а плавящийся флюс создаёт ванну жидкого шлака 4. Сварной шов 7

формируется при кристаллизации расплавленного металла, сверху он покрыт шлаковой коркой 6, образованной застывшим шлаком.

Оборудование: автомат для дуговой сварки. Это устройство, механизмирующее возбуждение и поддержание дуги, перемещение её вдоль линии шва и подачу сварочных материалов в зону плавления. Существуют различные конструкции сварочных автоматов, но в любом из них присутствуют:

- 1) устройство для закрепления бухты проволоки;
- 2) механизм подачи проволоки;
- 3) мундштук (скользящий контакт) для подвода сварочного тока;
- 4) механизм перемещения дуги вдоль линии шва.

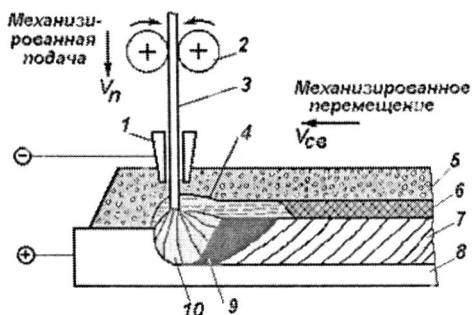


Рисунок 2.30 – Схема процесса автоматической дуговой сварки под флюсом

Материалы: сварочная проволока и флюсы, плавные или керамические (спечённые). Флюсы выполняют те же функции, что и покрытие электрода при РДС:

- 1) изолируют сварочную ванну от воздуха;
- 2) обеспечивают устойчивое горение дуги;
- 3) придают нужный состав и свойства наплавленному металлу.

Преимущества: это самый производительный способ сварки. За счёт большой силы тока (до 2 кА) и непрерывности процесса производительность АДСФ в 5–20 раз выше, чем при ручной сварке.

Высокое качество шва обеспечивается надёжной защитой от окружающей атмосферы, раскислением и легированием металла шва за счёт флюса, медленным охлаждением шва, постоянством размеров сварочной ванны.

Себестоимость 1 м шва ниже, так как металл не разбрызгивается, нет огарков электродов. Большая сила тока позволяет сваривать металл толщиной до 20 мм за один проход без разделки кромок.

2.17.3 Автоматическая дуговая сварка в защитном газе

Для защиты шва применяют струю газа, подаваемого в зону сварки через горелку под давлением. Для этого годятся газы, которые тяжелее воздуха и не окисляют расплавленный металл – аргон, углекислый газ.

Схема сварки в углекислом газе приведена на рисунке 2.31. Здесь 1 – кассета с проволокой, 2 – механизм подачи, 3 – проволока, 4 – токоподводящий мундштук, 5 – корпус горелки, 6 – сопло, 7 – атмосфера защитного газа, 8 – дуга, 9 – ванна жидкого металла, 10 – свариваемый металл, 11 – шов.

Углекислый газ в 1,5 раза тяжелее воздуха. Он хорошо защищает место сварки, шов при этом виден. Сварка ведётся на обратной полярности: электрод подключён к положительному полюсу источника, изделие – к отрицательному.

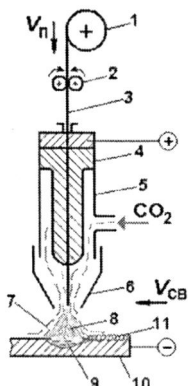


Рисунок 2.31 – Схема сварки в углекислом газе

2.17.4 Газовая сварка

На рисунке 2.32 показана схема газовой сварки. Основной 1 и присадочный 2 материал расплавляют высокотемпературным газовым пламенем 4. Горючий газ (ацетилен C_2H_2 , пропан C_3H_8 и т. п.) сгорает в кислороде при выходе из сварочной горелки 3. К месту

сварки газы подают из баллонов по резиновым шлангам через редукторы (устройства, понижающие давление). Для формирования шва используют присадочные прутки из сплава нужного состава.

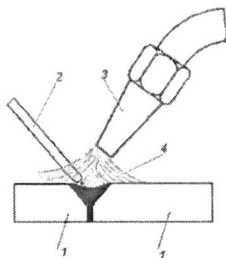


Рисунок 2.32 – Схема газовой сварки

Преимущества: не нужно электричество. Сварка может производиться в полевых условиях, вдали от линий электропередач.

При газовой сварке нагрев плавный, что позволяет сваривать металл малой толщины (0,2–0,3 мм), легкоплавкие металлы и сплавы. Постепенный, мягкий нагрев нужен при сварке чугунов и латуни.

Газовая сварка широко используется при проведении ремонтных работ, для устранения дефектов отливок.

Ацетилено-кислородное пламя применяют также для подогрева металла в процессе газокислородной резки.

Существуют и другие способы сварки плавлением: плазменная, лазерная, электронно-лучевая.

2.17.5 Электроконтактная сварка

Рассмотренные выше способы сварки осуществляются за счет плавления. Но только оплавления свариваемых кромок иногда бывает недостаточно для получения качественного соединения. Тогда применяют комбинированные способы, расплавляя или нагревая до пластического состояния соединяемые участки изделий с последующим их совместным обжатием.

Электроконтактная сварка осуществляется за счёт нагрева места соединения при протекании через него электрического тока и осадки (сдавливания) разогретых заготовок. Между кромками, разогретыми до пластического состояния или до оплавления, в процессе деформации и охлаждения возникают межатомные связи. Образуется прочное соединение.

Количество теплоты, выделяемой при протекании тока по проводнику, определяется законом Джоуля-Ленца:

$$Q = K \cdot I^2 \cdot R \cdot t \quad (2.5)$$

где I – сила тока в цепи;
 R – сопротивление проводника;
 t – время протекания тока.

2.17.6 Стыковая сварка

Применяется для заготовок типа стержней. Соединение возникает по всей поверхности соприкосновения торцов заготовок. Схема сварки показана на рисунке 2.33: 1 – зажимы, 2 – заготовки, 3 – неподвижная плита, 4 – подвижная плита, 5 – направляющая, 6 – сварочный трансформатор, 7 – гибкие шины.

Есть два варианта стыковой сварки:

1) Сварка сопротивлением. Заготовки сдавливаются, затем включается ток, заготовки разогреваются в месте стыка до пластического состояния, и производится осадка. В месте стыка возникает утолщение.

Применение: детали малого сечения (до диаметра 20 мм).

Недостаток: соединяемые поверхности нужно тщательно зачищать (шлифовать) для лучшего контакта.

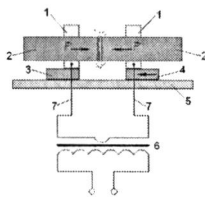


Рисунок 2.33 – Схема стыковой электроконтактной сварки

2) Сварка оплавлением (рисунок 2.34). Вначале включают ток, затем начинают сближать заготовки. Первыми соприкасаются выступы соединяемых поверхностей и оплавляются за счёт большой плотности тока (рисунок 2.34, а). Заготовки продолжают сближаться, оплаваясь уже по всей поверхности (рисунок 2.34, б), затем включается механизм осадки. Расплавленный металл вместе с оксидами и другими загрязнениями выдавливается из стыка, образуя неровный валик – грат, который потом удаляется на токарном

станке (рисунок 2.34, в).

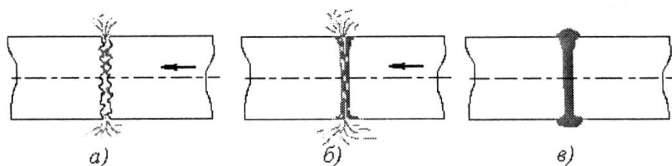


Рисунок 2.34 – Стыковая сварка оплавлением

Преимущества: Не нужна подготовка поверхностей, можно сваривать детали сложной формы и с разной формой сечения, разнородные металлы.

Применение: сварка колец, колёс, концевых инструмента (свёрла, фрезы, метчики), штоков, рельсов, арматуры, труб.

2.17.7 Точечная сварка

Листовые заготовки соединяются в отдельных точках. Листы собирают внахлёстку, зажимают между медными электродами и включают ток. Заготовки в месте контакта нагреваются до расплавления. Ток выключают, а давление увеличивают. Кристаллизация сварной точки идёт под давлением.

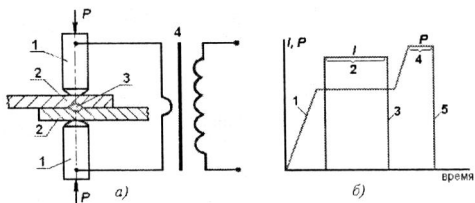


Рисунок 2.35 – Схема точечной электроконтактной сварки (а); циклограмма процесса (б)

Схема сварки показана на рисунке 2.35, а: 1 – электроды, 2 – заготовки, 3 – сварная точка, 4 – трансформатор. Циклограмма процесса приведена на рисунке 2.35, б: участок 1 – сжатие заготовок, участок 2 – протекание тока и расплавление металла, 3 – выключение тока, 4 – приложение ковочного усилия. 5 – снятие усилия.

Применение: для изготовления штамповарных конструкций из металла толщиной 0,5–6 мм. Можно сваривать конструкционные стали, алюминий, медь и их сплавы

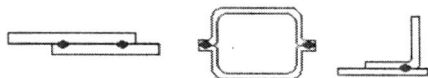


Рисунок 2.36 – Примеры точечных соединений

2.17.8 Сварка трением

В этом способе тоже применяется и нагрев, и давление. Заготовки разогреваются при трении друг о друга, а затем производится осевое сжатие, и заготовки соединяются. На схеме сварки (рисунок 2.37) показаны: 1 – неподвижная заготовка, 2 – вращающаяся заготовка, 3 – зажимное устройство, 4 – грат.

Преимущества: высокое качество соединения. Можно сваривать разнородные металлы. Расход электроэнергии меньше, чем при стыковой контактной сварке (в 5–10 раз).

Применение: для получения заготовок свёрл, метчиков и другого режущего инструмента, для сварки валов, пуансонов, поршней со штоками, осей, труб

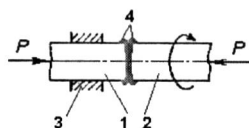


Рисунок 2.37 – Схема сварки трением

2.17.9 Холодная сварка

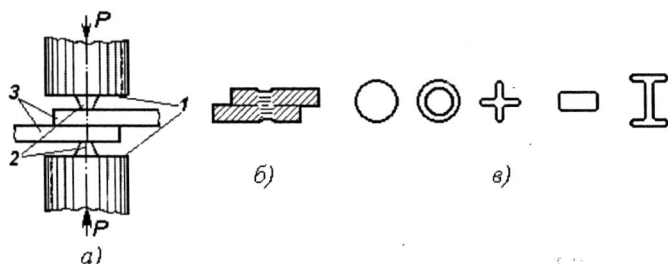
Это – механическая сварка в чистом виде, выполняется без нагрева даже при пониженных температурах.

Свариваемые поверхности сближаются до образования межатомных связей за счёт значительной пластической деформации. Жировые и оксидные плёнки удаляют заранее.

Схема холодной сварки представлена на рисунке 2.38, а. При сжатии заготовок 3 усилием P выступы 2 пуансонов вдавливаются в металл, пока пуансоны 1 не упрутся в поверхность заготовок.

Выступы внедряются в металл на 70–80 % его толщины. В зоне сварки происходит значительная пластическая деформация металла, плёнки оксидов и загрязнения выжимаются на периферию, а между чистыми поверхностями заготовок возникают межатомные связи. Образуется сварное соединение (рисунок 2.38, б). Форма сварной точки соответствует форме выступа (рисунок 2.38, в).

Холодной сваркой можно получать точечные, стыковые и шовные соединения.



а) схема точечной сварки; б) сварное соединение; в) формы сварных точек

Рисунок 2.38 – Холодная сварка

Применение: для соединения заготовок из мягких, пластичных металлов – алюминия, меди, никеля, свинца, олова, цинка. Так сваривают корпуса приборов, провода, шины, алюминиевые оболочки кабелей.

2.17.10 Дефекты и контроль качества сварных соединений

Все возникающие при сварке дефекты можно разделить на внешние, видимые и внутренние – невидимые, поэтому особенно опасные.

К внешним дефектам, обнаруживаемым при осмотре, относятся нарушения геометрии шва: неравномерное сечение шва, несоответствие размеров шва заданным. Кроме того, внешними дефектами являются подрезы, наплывы, трещины. При стыковой контактной сварке возможно смещение осей заготовок; при точечной и шовной – выплески металла и вматины.

Внутренние дефекты можно обнаружить только специальными методами неразрушающего контроля. Это непровары, шлаковые

включения, поры. Возможно появление внутренних трещин, перегрев – рост зерна сверх допустимого.

2.18 Пайка

Пайкой называют соединение металлов и сплавов в твёрдом состоянии с помощью припоя – сплава с температурой плавления ниже, чем у соединяемых металлов.

Припой должен смачивать и растворять металл соединяемых деталей или образовывать с ним химические соединения. Важнейшую роль в процессе пайки играют капиллярные явления: они обеспечивают проникновение жидкого припоя в зазор между соединяемыми деталями.

Для растворения и удаления оксидов с поверхности деталей, а так же для улучшения смачиваемости металла припоем применяют флюсы. Это канифоль, соляная кислота, хлористый цинк, бура, борная кислота, нашатырный спирт.

Припои делятся на мягкие, с низкой температурой плавления – оловянно-свинцовые (марки ПОС) и твёрдые, с высокой температурой плавления – сплавы меди с цинком, никелем, серебром.

Преимущества пайки по сравнению со сваркой: пайка экономичнее, она не изменяет химический состав и механические свойства металла, паяные конструкции деформируются меньше, чем сварные.

Недостатки: прочность паяного соединения меньше прочности основного металла. Поверхности для пайки должны быть хорошо подготовлены: зачищены, обезжирены. Зазор между соединяемыми деталями должен быть минимальным: сотые доли мм.

Вопросы для самопроверки

1. Какие основные условия необходимо выполнить для получения сварного соединения?
2. Как оценивают свариваемость материалов?
3. Какие источники тока применяют для дуговой сварки и каковы особенности их внешних характеристик?
4. В чём заключается сущность электрошлаковой сварки?
5. По каким признакам различают способы сварки?
6. Какие основные электрические и тепловые свойства электрической дуги?
7. По каким признакам классифицируют электроды для ручной дуговой сварки?

Тестовые задания

1. Все способы сварки в зависимости от способа подвода энергии для активации подразделяются на 3 класса

- А) Термическая, термомеханическая, механическая;
- Б) Контактная, газовая, механическая;
- С) Электрическая, механическая, газовая;
- Д) Тепловая, дуговая, шовная;
- Е) Нет правильного ответа.

2. Основные этапы зажигания электрической дуги при дуговой сварке

- А) Короткого замыкания, горения электрической дуги;
- Б) Касания, короткого замыкания, горения электрической дуги;
- С) Нет правильного ответа;
- Д) Касания коротко-временное, термоэлектронной эмиссии, электрический разряд - горения электрической дуги;
- Е) Короткого замыкания, разрыва, горения электрической дуги.

3. Ручная дуговая сварка выполняется

- А) При помощи сварочного электрода, активация атомов поверхностного слоя происходит за счет тепла при прохождении электрического тока через шлаковую ванну;
- Б) При помощи сварочной проволоки, активация атомов поверхностного слоя происходит за счет тепла электрической дуги горячей под слоем флюса, сближение за счет смачивания расплавленным металлом свариваемых поверхностей;
- С) При помощи сварочного электрода, активация атомов поверхностного слоя происходит за счет тепла электрической дуги, сближение за счет смачивания расплавленным металлом свариваемых поверхностей;
- Д) При помощи сварочной проволоки, активация атомов поверхностного слоя происходит за счет тепла электрической дуги горячей под слоем флюса, сближение за счет механического сжатия свариваемых поверхностей;
- Е) При помощи сварочной проволоки, активация атомов поверхностного слоя происходит за счет тепла выделяемого от сгорания горючего газа под слоем флюса, сближение за счет механического сжатия свариваемых поверхностей.

4. Сварка под флюсом осуществляется

А) При помощи сварочной проволоки, активация атомов поверхностного слоя происходит за счет тепла электрической дуги горящей под слоем флюса, сближение за счет смачивания расплавленным металлом свариваемых поверхностей;

В) При помощи сварочного электрода, активация атомов поверхностного слоя происходит за счет тепла электрической дуги, сближение за счет смачивания расплавленным металлом свариваемых поверхностей;

С) При помощи сварочного электрода, активация атомов поверхностного слоя происходит за счет тепла при прохождении электрического тока через шлаковую ванну;

Д) При помощи сварочной проволоки, активация атомов поверхностного слоя происходит за счет тепла электрической дуги горящей под слоем флюса, сближение за счет механического сжатия свариваемых поверхностей;

Е) При помощи сварочной проволоки, активация атомов поверхностного слоя происходит за счет тепла выделяемого от сгорания горючего газа под слоем флюса, сближение за счет механического сжатия свариваемых поверхностей.

5. Сварка газовая осуществляется

А) При помощи сварочной проволоки, активация атомов поверхностного слоя происходит за счет тепла электрической дуги горящей под слоем флюса, сближение за счет смачивания расплавленным металлом свариваемых поверхностей;

В) При помощи добавочного электрода, активация атомов поверхностного слоя происходит за счет тепла выделяемого от сгорания горючего газа, сближение за счет смачивания расплавленным металлом свариваемых поверхностей;

С) При помощи сварочного электрода, активация атомов поверхностного слоя происходит за счет тепла при прохождении электрического тока через шлаковую ванну;

Д) При помощи сварочной проволоки, активация атомов поверхностного слоя происходит за счет тепла электрической дуги горящей под слоем флюса, сближение за счет механического сжатия свариваемых поверхностей;

Е) При помощи сварочного электрода, активация атомов поверхностного слоя происходит за счет тепла электрической дуги, сближение за счет смачивания расплавленным металлом свариваемых поверхностей.

6. Ручная электродуговая сварка относится к классу сварки

- A) Механическому;
- B) Термомеханическому;
- C) Термическому;
- D) Электромеханическому;
- E) Нет правильного ответа.

7. Электроконтактная сварка относится к классу сварки

- A) Термомеханическому;
- B) Термическому;
- C) Механическому;
- D) Электромеханическому;
- E) Нет правильного ответа.

8. К источникам сварочного тока относятся

- A) Сварочный выпрямитель, аккумуляторы;
- B) Сварочные трансформаторы, сварочные генераторы, сварочные преобразователи;
- C) Солнечные батареи, солнечные коллекторы;
- D) Тепловые насосы, сварочные генераторы, сварочные выпрямители;
- E) Нет правильного ответа.

9. Сварочный трансформатор обеспечивает питание электрической дуги

- A) Постоянным током;
- B) Переменным током;
- C) Постоянным током прямой полярности;
- D) Постоянным током обратной полярности;
- E) Нет правильного ответа.

10. Дефекты сварных соединений

- A) Трещины внутренние, наружные, непровары, коробление;
- B) Некруглость, несимметричность;
- C) Неплоскостность;
- D) Нет правильного ответа;
- E) Негерметичность.

2.19 Обработка металлов резанием

Обработка металлов резанием – процесс срезания режущим инструментом с поверхности заготовки слоя металла в виде стружки

для получения необходимой геометрической формы, заданной точности размеров и качества поверхности детали.

Чтобы срезать с заготовки слой металла, режущему инструменту и заготовке придают относительные движения. Для этого инструмент и заготовку закрепляют в рабочих органах станков – в шпинделе, на столе, в револьверной головке. Эти узлы станков обеспечивают необходимые перемещения инструмента и заготовки.

Движения рабочих органов станков подразделяют на движения резания, установочные и вспомогательные.

Движения, которые обеспечивают срезание с заготовки слоя металла, называют движениями резания. К ним относят главное движение резания D_r и движение подачи D_s . Главное движение определяет скорость деформирования и отделения стружки, а движение подачи обеспечивает непрерывное врезание режущей кромки инструмента в материал заготовки. Эти движения могут быть непрерывными и прерывистыми, по характеру – вращательными и поступательными. Скорость главного движения резания обозначают V , скорость движения подачи – V_s . Главное движение при обработке резанием всегда одно, а направлений подачи может быть несколько.

Движения, обеспечивающие взаимное положение инструмента и заготовки для срезания с нее заданного слоя материала, называют установочными.

К вспомогательным движениям относят закрепление заготовки и инструмента, быстрые перемещения рабочих органов станка, транспортирование заготовки и т. д.

2.19.1 Классификация видов обработки резанием

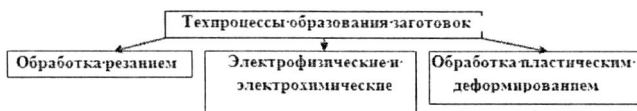
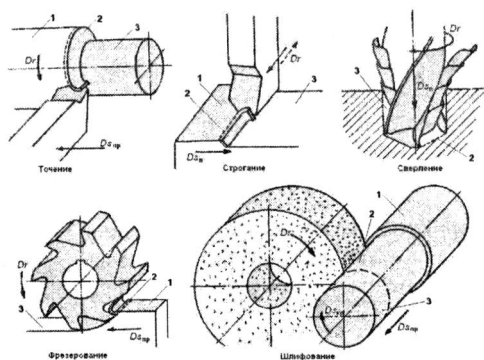


Рисунок 2.39 – Классификация видов обработки резанием

Существуют также комбинированные способы, включающие, например, обработку резанием и электрофизические процессы.

На долю обработки резанием приходится в разных отраслях машиностроения от 80 до 95 % всех обрабатываемых деталей. Важнейшие преимущества обработки резанием перед другими способами: мобильность (перенастройка оборудования на обработку новых изделий не требует значительных затрат и времени),

возможность получения деталей с любой точностью, из любых металлов и сплавов.



1 – обрабатываемая поверхность, 2 – поверхность резания, 3 – обработанная поверхность

Рисунок 2.40 – Схемы обработки резанием

Виды обработки резанием подразделяются на лезвийные и абразивные. Во всех лезвийных методах используется инструмент с одним или несколькими режущими лезвиями, геометрия которых определяет точность размеров и качество получаемой поверхности. Это точение, сверление, строгание, фрезерование, протягивание. К абразивным методам относятся шлифование, полирование, притирка, хонингование и другие виды обработки, в которых инструментом являются частицы очень твердого вещества – абразива, соединенные связкой или разрозненные. Абразивные методы чаще используются для чистовой, окончательной обработки.

Любой процесс резания можно изобразить схематично: показать заготовку, её установку и закрепление на станке, закрепление и положение инструмента, а также движения резания (рисунок 2.40).

Обработанную поверхность выделяют цветом или толщиной линии. Обозначение подач: $S_{\text{пр}}$ – продольная подача, $S_{\text{п}}$ – поперечная, $S_{\text{в}}$ – вертикальная, $S_{\text{кр}}$ – круговая и т. д.

2.19.2 Физические явления в процессе резания

Резание металлов – сложный процесс взаимодействия режущего инструмента и заготовки; сопровождаемый рядом физических явлений.

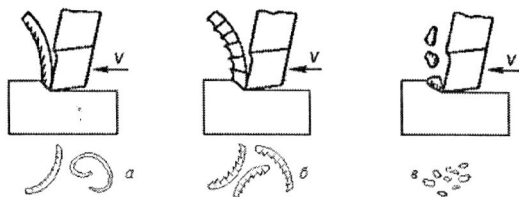


Рисунок 2.41 – Образование стружки

2.19.3 Деформирование срезаемого слоя и виды стружки

В срезаемом слое металла возникают вначале упругие, а затем пластические деформации. В прирезцовой зоне возникают сдвиги, кристаллы деформируются и разрушаются, измельчаются, вытягиваются. Срезанный слой металла дополнительно деформируется из-за трения стружки о переднюю поверхность инструмента. Сдвиговые деформации приводят к скалыванию элементарного объёма металла, затем процесс повторяется и образуется следующий элемент стружки (рисунок 2.42). До 90 % работы резания расходуется на пластическое деформирование металла.

Работа резания максимальна при образовании суставчатой стружки, минимальна – для стружки надлома. Удалять из зоны резания наиболее сложно сливную стружку: она навивается на резец и деталь. Чтобы сделать стружку мелкой, применяют резцы специальной конструкции – со стружколомными выступами, используют вибрационное резание (колебания ломают стружку).



а – сливная (у пластичных металлов); б – скалывания (у металлов средней твердости); в – элементная (у хрупких металлов)

Рисунок 2.42 – Виды стружки

2.19.4 Тепловые явления в процессе резания

В процессе резания образуется теплота, общее количество которой складывается из теплоты, выделяемой за счет:

- 1) трения стружки о переднюю поверхность инструмента;
- 2) трения задних поверхностей инструмента о заготовку;
- 3) деформации металла (рисунок 2.43).

Из зоны резания тепло отводится стружкой (25–85 %), поглощается заготовкой (10–50 %) и инструментом (2–8 %), а также излучается в окружающую среду.

Уравнение теплового баланса процесса резания:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_{стр} + Q_{инстр} + Q_{изг} + Q_{изл} \quad (2.6)$$

Теплообразование вредно, так как инструмент теряет режущие свойства, изменяется его геометрия, из-за чего возникают отклонения размеров и формы обработанной поверхности от заданных. Нагрев заготовки также приводит к изменению ее размеров и формы.

Для уменьшения вредного влияния теплоты на качество обработки применяют смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). Это водные растворы солей, эмульсии, минеральные масла, сульфозреолы (масла с добавками фосфора, серы, хлора), керосин и др.

Жидкости снижают трение стружки об инструмент и инструмента о заготовку, уменьшают количество выделяемой теплоты и отводят ее во внешнюю среду. Смазывающее действие жидкостей препятствует налипанию металла на инструмент, в результате качество обработки повышается.

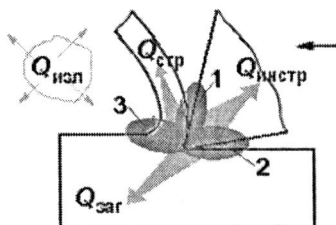


Рисунок 2.43 – Источники образования и распределение теплоты при резании

При черновой обработке необходимо сильное охлаждение, поэтому применяют эмульсии. При чистовой обработке, когда требуется получить высокое качество обработанной поверхности, используют различные масла.

Жидкость обычно подают под напором через узкое сопло на переднюю поверхность инструмента, иногда распыляют в виде тумана.

2.19.5 Трение, износ и стойкость инструмента

Износ инструмента вызван, в основном, трением между стружкой и передней поверхностью лезвия, а также между главной задней поверхностью инструмента и заготовкой. Характер износа – абразивный, т. е. инструмент истирается по передней и задней поверхностям (рисунок 2.44).

На передней поверхности резца возникает лунка шириной b , а на главной задней поверхности – ленточка шириной h . Главное значение имеет износ по задней поверхности, так как из-за этого уменьшается глубина резания (вылет резца из резцедержателя). Обработанная поверхность получается конусообразной.

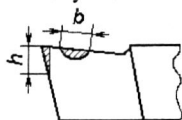


Рисунок 2.44 – Общий характер износа

Принятый критерий износа – наибольшее допустимое значение ширины ленточки h .

Критерий износа составляет:

- для быстрорежущей стали $h = 1,5-2$ мм;
- для твердосплавных пластин $h = 0,8-1$ мм;
- для минералокерамики $h = 0,5-0,8$ мм.

Допустимому износу соответствует определенная стойкость инструмента. Стойкостью инструмента T называют суммарное время его работы между переточками на определенном режиме резания. Измеряется стойкость в минутах. Обычная стойкость токарных резцов 30–90 мин, фрез – десятки часов. Сильнее всего на стойкость влияет скорость резания. Поэтому следует вести обработку на расчетной скорости или ближайшей к ней меньшей.

2.19.6 Отделочная обработка резанием

Отделочная обработка повышает точность размеров, уменьшает шероховатость поверхностей, придает им особый вид, повышает

надёжность работы машин. Доля отделочных методов в обработке резанием непрерывно растет.

Отделка чистовыми резцами и шлифовальными кругами.

Тонкое обтачивание и растачивание выполняется с высокой скоростью резания, с малой глубиной резания и подачей, резцами с широкими режущими лезвиями, параллельными оси заготовки.

Тонкое шлифование выполняют с очень малой глубиной, с обильной подачей СОЖ, мягкими высокопористыми мелкозернистыми кругами.

2.20 Полирование

Полирование не только уменьшает шероховатость, но и придает зеркальный блеск, что нужно для снижения трения и декоративного вида. Для полирования применяют полировальные пасты – абразивные зёрна со смазочным веществом. Инструментом являются круги из войлока, фетра, кожи; щётки, бесконечные абразивные ленты. Надо отметить, что полирование не исправляет погрешности формы, так как используется гибкий инструмент.

2.21 Хонингование

Хонингование дает не только точность и малую шероховатость, но и создает микропрофиль поверхности – сетку для удержания смазки в узле трения.

Заготовка закрепляется неподвижно, инструмент – хонинговальная головка (хон) – имеет мелкозернистые абразивные бруски и совершает одновременно вращательное и возвратно-поступательное движение; их скорости V_1 и V_2 неодинаковы (рисунок 2.45). Сочетание этих движений дает сетку микроскопических винтовых царапин – следов абразивных зерен. Наложение траекторий исключается. Абразивные бруски подпружинены, поэтому контакт их с поверхностью отверстия непрерывен. Обязательно обильное охлаждение керосином.

Хонингование исправляет погрешности формы, полученные при обработке отверстия.

Аналогичный способ отделочной абразивной обработки применяется для наружных поверхностей (суперфиниширование).

Точность размеров, которую дают отделочные методы, – до 5 квалитета, шероховатость (высота неровностей R_z) составляет сотые доли микрона.

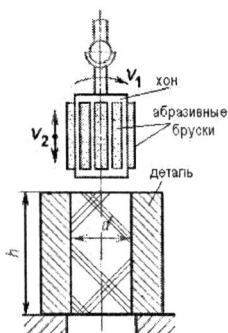


Рисунок 2.45 – Хонингование

2.22 Чистовая обработка пластическим деформированием

Обработка поверхностей без снятия стружки, в частности, пластическим деформированием, тоже позволяет получить нужную точность и малую шероховатость. Пластическим деформированием обрабатывают только поверхности, сопряженные с поверхностями других деталей (валы и отверстия). Эти способы проще, чем чистовая обработка резанием, к тому же они безотходны.

Объём заготовки не меняется. Под действием деформирующего инструмента перемещаются только элементарные объёмы металла. Происходит сглаживание микронеровностей за счёт смятия микровыступов и заполнения ими микровпадин (рисунок 2.46, в). Температура при обработке не повышается, поэтому структура металла не нарушается.

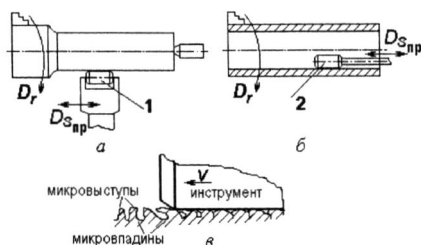
Пластическая деформация упрочняет поверхность металла, заглаживает риски и микротрещины. При этом возрастает надёжность изделия в условиях эксплуатации (выше сопротивление усталости, износу, коррозии).

Выполнять обработку можно на обычных металлорежущих станках, с помощью специального инструмента и приспособлений. Охлаждения не требуется, но для смазки применяют керосин, веретенное масло, сульфофрезол.

Обработка пластическим деформированием годится для всех пластичных металлов, но лучший эффект получается на более мягких материалах ($HB \leq 280$).

Важной разновидностью этого способа является накатывание резьб, шлицевых валов и зубчатых колёс. Профиль резьбы и др.

образуется за счёт вдавливания инструмента в материал заготовки. При этом сочетается черновая, чистовая и отделочная обработка.



а – обкатывание; б – раскатывание; в – сглаживание микронеровностей; инструмент. 1 – обкатка, 2 – раскатка (закаленные стальные ролики)

Рисунок 2.46 – Обработка пластическим деформированием

Это более производительный и дешёвый способ, чем обработка резанием. Качество поверхности высокое, формируется благоприятная для механических нагрузок структура.

2.23 Электрофизическая и электрохимическая обработка

Эти методы используют электрическую, химическую, звуковую, лучевую энергию. Они дополняют обработку металлов резанием, но иногда могут и заменять.

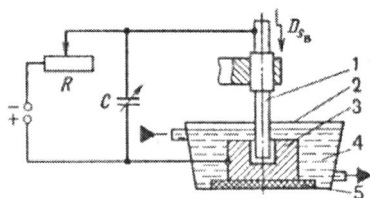
Преимущества:

- 1) нет силовых нагрузок, что повышает точность обработки;
- 2) поверхность детали не упрочняется;
- 3) легко автоматизировать процессы;
- 4) можно одновременно обрабатывать все нужные поверхности;
- 5) процессы обработки идут непрерывно.

2.24 Электронская обработка

Электронская обработка (рисунок 2.47) основана на эрозии (разрушении) электродов при пропускании между ними импульсов электрического тока. Когда напряжение между электродами достигает пробойного, происходит искровой разряд, оплавляется и испаряется элементарный объём металла на аноде, и образуется лунка. Вырванные частички металла застывают в виде гранул

микронной величины в диэлектрической жидкости. Расстояние между электродами поддерживается автоматически (0,01–0,05 мм).



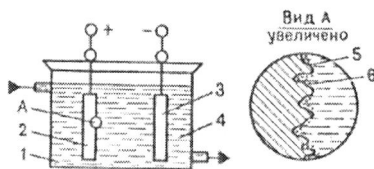
1 – инструмент (катод); 2 – ванна; 3 – заготовка (анод); 4 – диэлектрическая жидкость (керосин); 5 – изолятор

Рисунок 2.47 – Электроискровая обработка

Так можно получать отверстия и полости, вырезать заготовки сложной формы.

Применяется для труднообрабатываемых металлов и сплавов – инструментальных, жаропрочных.

Электрохимическая обработка (рисунок 2.48) основана на явлении анодного растворения. Металл с поверхности анода переходит в химическое соединение и растворяется, причём в первую очередь растворяются микровыступы, так как плотность тока на них выше.



1 – ванна; 2 – заготовка (анод); 3 – катод; 4 – электролит; 5 – выступ; 6 – впадина

Рисунок 2.48 – Электрохимическое полирование

Такая обработка применяется для полирования и доводки поверхностей. Этим методом готовят поверхности деталей под гальванические покрытия, доводят рабочие поверхности режущего инструмента и т.д.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите основные виды поверхностей, обрабатываемых на токарных станках.
2. Каковы особенности процесса резания при сверлении по сравнению с методом точения?
3. Какова особенность процесса фрезерования?
4. Какие принципиальные отличия метода шлифования от метода обработки лезвийным инструментом?
5. При каких условиях тонкое обтачивание может заменить шлифование?
6. Каковы основные преимущества хонингования и суперфиниша?
7. Какова роль отделочно-зачистной обработки в решении проблем повышения качества изделий?

Тестовые задания

1. Технологические возможности металлорежущих станков

- А) обеспечение требуемой шероховатости обработанной поверхности обеспечение точности обработки. Обработка плоских, цилиндрических и фасонных поверхностей;
- В) обеспечение точности обработки;
- С) Нет правильного ответа;
- Д) Изготовление отливок;

2. Инструмент применяемый на металлорежущих станках

- А) подкладной штамп, развертки, протяжки, фрезы, зенкеры;
- В) Прошивни, оправка для раскатки, сверла, фрезы;
- С) кокиль, прошивни, оправка для раскатки;
- Д) Резцы, сверла, фрезы, развертки, протяжки, зенкеры;

3. Характеристика метода обработки точением и его технологические возможности

- А) Поступательное движение совершает заготовка и инструмент, точением обрабатывают цилиндрические поверхности, наружные и внутренние, торцы, канавки, и фасонные поверхности;
- В) Вращательное движение совершает инструмент, поступательное движение совершает заготовка, точением обрабатывают цилиндрические поверхности, наружные и внутренние, торцы, канавки, и фасонные поверхности;

С) вращательное движение совершает заготовка, поступательное движение совершает инструмент, точением обрабатывают цилиндрические поверхности, наружные и внутренние, торцы, канавки, и фасонные поверхности;

Д) Вращательное движение совершает инструмент, заготовка совершает возвратно - поступательное движение, точением обрабатывают цилиндрические поверхности, наружные и внутренние, торцы, канавки, и фасонные поверхности;

4. Виды токарных резцов

А) подрезные, спиральные, канавочные, левые, правые;

В) проходные, отрезные, фасонные, подрезные, канавочные, левые, правые;

С) торцовые, концевые, шпоночные;

Д) спиральные, шнековые, перовые;

5. Крепежно-зажимной инструмент при точении

А) Токарный патрон, сверлильный патрон, люнет, оправки;

В) Электромагнитная плита, токарный патрон, сверлильный патрон, люнет, оправки;

С) Тисы станочные, токарный патрон, сверлильный патрон, люнет, оправки;

Д) Механическая магнитная плита, токарный патрон, сверлильный патрон, люнет, оправки;

6. Способы обработки ступенчатых валов при точении

А) Точение по копиру;

В) Точение с поперечной подачей;

С) Продольное точение. Точение с поперечной подачей. Точение по копиру. Точение фасонным резцом;

Д) Точение фасонным резцом;

7. Способы обработки конусов

А) Поворотом верхней каретки;

В) Смещением заднего центра;

С) Точение фасонным резцом. Смещением заднего центра. Поворотом верхней каретки. Точение по копиру;

Д) Точение по копиру;

3 Материаловедение

Материаловедение – это наука о взаимосвязи электронного строения, структуры материалов с их составом, физическими, химическими, технологическими и эксплуатационными свойствами.

Создание научных основ металловедения по праву принадлежит Чернову Д.К., который установил критические температуры фазовых превращений в сталях и их связь с количеством углерода в сталях. Этим были заложены основы для важнейшей в металловедении диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов.

Открытием аллотропических превращений в стали, Чернов заложил фундамент термической обработки стали. Критические точки в стали, позволили рационально выбирать температуру ее закалки, отпуска и пластической деформации в производственных условиях.

В своих работах по кристаллизации стали, и строению слитка Чернов изложил основные положения теории литья, не утратившие своего научного и практического значения в настоящее время.

Великий русский металлург Аносов П.П. впервые применил микроскоп для исследования структуры металлов. Ему принадлежит приоритет в создании легированных сталей. Разработал теорию и технологию изготовления клинков из булатной стали. Из его работ стало ясно, что так называемый булатный узор на поверхности стали, непосредственно зависит от ее внутренней структуры.

В 1873-1876 г.г Гиббс изложил основные законы фазового равновесия и, в частности, правило фаз, основываясь на законах термодинамики. Для решения практических задач знание фазового равновесия в той или иной системе необходимо, но не достаточно для определения состава и относительного количества фаз. Обязательно знать структуру сплавов, то есть атомное строение фаз, составляющих сплав, а также распределение, размер и форму кристаллов каждой фазы.

Определение атомного строения фаз стало возможным после открытия Лауэ (1912 г), показавшего, что атомы в кристалле регулярно заполняют пространство, образуя пространственную дифракционную решетку, и что рентгеновские лучи имеют волновую природу. Дифракция рентгеновских лучей на такой решетке дает возможность исследовать строение кристаллов.

Материаловедение развивается прежде всего экспериментальным путем, но в XX столетии был создан и продолжает совершенствоваться математический аппарат, позволяющий до эксперимента просчитывать поведение материала в

различных условиях, создавать модели структуры и выбирать оптимальную.

Структура – важнейшее понятие в материаловедении. Можно сказать, что под структурой понимается состав, размеры и форма, количественное соотношение и пространственное расположение составляющих материал частиц. В зависимости от размеров этих частиц и применяемых методов их выявления различают понятия:

- макроструктура (строение материала, видимое невооруженным глазом или с помощью лупы; размер объектов до 10^{-4} м, или 0,1 мм);

- микроструктура (строение материала, наблюдаемое с помощью оптического микроскопа; размер объектов до 10^{-7} м, или 0,1 мкм);

- тонкая структура (строение молекул и атомов, расположение элементарных частиц в молекулах и кристаллах). Изучается с помощью рентгеноструктурного анализа, непосредственно наблюдается в электронном микроскопе. Размер объектов до 10^{-10} м, или 0,1 нм.

Сравнительно недавно (конец XX в.) появилось понятие наноструктуры. Под наноструктурой понимают объекты в материале, имеющие величину от долей нанометра до 100 нм. (1 нм = 10^{-9} м.)

Задачи и возможности материаловедения.

Создание новых материалов и познание закономерностей их поведения позволяет экономить сырье, уменьшать массу машин и конструкций, добиваться большей точности изготовления деталей, повышать надежность и долговечность техники, увеличивать мощность двигателей.

Основными направлениями в развитии металловедения является разработка способов производства чистых и сверхчистых металлов, свойства которых сильно отличаются от свойств металлов технической чистоты, с которыми преимущественно работают. Задачей материаловедения является создание материалов с заранее рассчитанными свойствами применительно к заданным параметрам и условиям работы. Большое внимание уделяется изучению металлов в экстремальных условиях (низкие и высокие температуры и давление).

До настоящего времени основной материальной базой машиностроения служит черная металлургия, производящая стали и чугуны. Эти материалы имеют много положительных качеств и в первую очередь обеспечивают высокую конструкционную прочность деталей машин. Однако эти классические материалы имеют такие недостатки как большая плотность, низкая коррозионная стойкость. Потери от коррозии составляют 20 % годового производства стали и чугуна. Поэтому, по данным научных исследований, через 20...40 лет

все развитые страны перестроятся на массовое использование металлических сплавов на базе титана, магния, алюминия. Эти легкие и прочные сплавы позволяют в 2-3 раза облегчить станки и машины, в 10 раз уменьшить расходы на ремонт.

Важное значение имеет использования новых материалов взамен традиционных (металлических) – пластмасс, керамики, материалов порошковой металлургии, особенно композиционных материалов, что экономит дефицитные металлы, снижает затраты энергии на производство материалов, уменьшает массу изделий.

Расчетами установлено, что замена ряда металлических деталей легкового автомобиля на углепластики из эпоксидной смолы, армированной углеродными волокнами, позволит уменьшить массу машины на 40%; она станет более прочной; уменьшится расход топлива, резко возрастет стойкость против коррозии.

3.1 Металлы, особенности атомно-кристаллического строения

Металлы – один из классов конструкционных материалов, характеризующийся определённым набором свойств:

- а) «металлический блеск» (хорошая отражательная способность);
- б) пластичность;
- в) высокая теплопроводность;
- г) высокая электропроводность.

Данные свойства обусловлены особенностями строения металлов. Согласно теории металлического состояния, металл представляет собой вещество, состоящее из положительных ядер, вокруг которых по орбитам вращаются электроны. На последнем уровне число электронов невелико и они слабо связаны с ядром. Эти электроны имеют возможность перемещаться по всему объёму металла, т.е. принадлежать целой совокупности атомов.

Таким образом, пластичность, теплопроводность и электропроводность обеспечиваются наличием «электронного газа».

Все металлы, затвердевающие в нормальных условиях, представляют собой кристаллические вещества, то есть укладка атомов в них характеризуется определённым порядком – периодичностью, как по различным направлениям, так и по различным плоскостям. Этот порядок определяется понятием кристаллическая решётка.

Другими словами, кристаллическая решетка это воображаемая пространственная решетка, в узлах которой располагаются частицы, образующие твердое тело.

Элементарная ячейка – элемент объёма из минимального числа атомов, многократным переносом которого в пространстве можно построить весь кристалл.

Элементарная ячейка характеризует особенности строения кристалла. Основными параметрами кристалла являются:

а) размеры рёбер элементарной ячейки. a, b, c – периоды решётки – расстояния между центрами ближайших атомов. В одном направлении выдерживаются строго определёнными.

б) углы между осями (α, β, γ).

в) координационное число (K) указывает на число атомов, расположенных на ближайшем одинаковом расстоянии от любого атома в решетке.

г) базис решетки количество атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку решетки.

д) плотность упаковки атомов в кристаллической решетке – объем, занятый атомами, которые условно рассматриваются как жесткие шары. Ее определяют как отношение объема, занятого атомами к объему ячейки (для объемно-центрированной кубической решетки – 0,68, для гранецентрированной кубической решетки – 0,74)

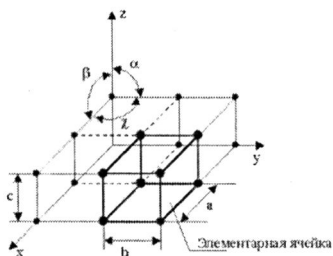
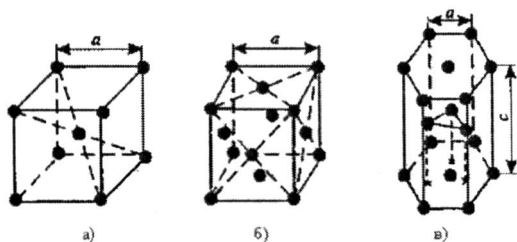


Рисунок 3.1 – Схема кристаллической решетки

Основными типами кристаллических решёток являются:

- 1) Объемно - центрированная кубическая (ОЦК) (рисунок 3.2, а), атомы располагаются в вершинах куба и в его центре (V, W, Ti, Fe_a)
- 2) Гранецентрированная кубическая (ГЦК) (рисунок 3.2, б), атомы располагаются в вершинах куба и по центру каждой из шести граней (Ag, Au, Fe_a)
- 3) Гексагональная, в основании которой лежит шестиугольник:

- простая – атомы располагаются в вершинах ячейки и по центру двух оснований (углерод в виде графита);
- плотноупакованная (ГПУ) – имеется три дополнительных атома в средней плоскости (цинк).



а – объемно-центрированная кубическая; б –
 гранецентрированная кубическая; в – гексагональная
 плотноупакованная

Рисунок 3.2 – Основные типы кристаллических решеток

3.2 Понятие об изотропии и анизотропии

Свойства тела зависят от природы атомов, из которых оно состоит, и от силы взаимодействия между этими атомами. Силы взаимодействия между атомами в значительной степени определяются расстояниями между ними. В аморфных телах с хаотическим расположением атомов в пространстве расстояния между атомами в различных направлениях равны, следовательно, свойства будут одинаковые, то есть аморфные тела изотропны.

В кристаллических телах атомы правильно располагаются в пространстве, причем по разным направлениям расстояния между атомами неодинаковы, что предопределяет существенные различия в силах взаимодействия между ними и, в конечном результате, разные свойства. Зависимость свойств от направления называется анизотропией.

Чтобы понять явление анизотропии необходимо выделить кристаллографические плоскости и кристаллографические направления в кристалле.

Плоскость, проходящая через узлы кристаллической решетки, называется кристаллографической плоскостью.

Прямая, проходящая через узлы кристаллической решетки, называется кристаллографическим направлением.

Для обозначения кристаллографических плоскостей и направлений пользуются индексами Миллера. Чтобы установить индексы Миллера, элементарную ячейку вписывают в пространственную систему координат (оси X,Y,Z – кристаллографические оси). За единицу измерения принимается период решетки.

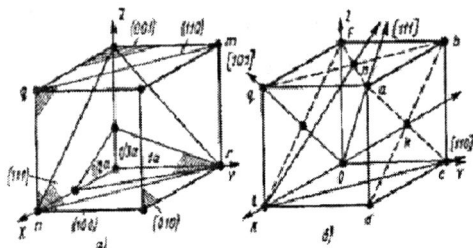


Рисунок 3.3 – Примеры обозначения кристаллографических плоскостей (а) и кристаллографических направлений (б)

Для определения индексов кристаллографической плоскости необходимо:

- установить координаты точек пересечения плоскости с осями координат в единицах периода решетки;
- взять обратные значения этих величин;
- привести их к наименьшему целому кратному, каждому из полученных чисел.

Полученные значения простых целых чисел, не имеющие общего множителя, являются индексами Миллера для плоскости, указываются в круглых скобках. Примеры обозначения кристаллографических плоскостей на рисунке 3.3, а.

Другими словами, индекс по оси показывает на сколько частей плоскость делит осевую единицу по данной оси. Плоскости, параллельные оси, имеют по ней индекс 0 (110)

Ориентация прямой определяется координатами двух точек. Для определения индексов кристаллографического направления необходимо:

- а) одну точку направления совместить с началом координат;
- б) установить координаты любой другой точки, лежащей на прямой, в единицах периода решетки

в) привести отношение этих координат к отношению трех наименьших целых чисел.

3.3 Аллотропия или полиморфные превращения

Способность некоторых металлов существовать в различных кристаллических формах в зависимости от внешних условий (давление, температура) называется аллотропией или полиморфизмом.

Каждый вид решетки представляет собой аллотропическое видоизменение или модификацию.

Примером аллотропического видоизменения в зависимости от температуры является железо (Fe).

Превращение одной модификации в другую протекает при постоянной температуре и сопровождается тепловым эффектом. Видоизменения элемента обозначается буквами греческого алфавита в виде индекса у основного обозначения металла.

Примером аллотропического видоизменения, обусловленного изменением давления, является углерод: при низких давлениях образуется графит, а при высоких – алмаз.

Используя явление полиморфизма, можно упрочнять и разупрочнять сплавы при помощи термической обработки.

3.4 Магнитные превращения

Некоторые металлы намагничиваются под действием магнитного поля. После удаления магнитного поля они обладают остаточным магнетизмом. Это явление впервые обнаружено на железе и получило название ферромагнетизма. К ферромагнетикам относятся железо, кобальт, никель и некоторые другие металлы.

При нагреве ферромагнитные свойства металла уменьшаются постепенно: вначале слабо, затем резко, и при определённой температуре (точка Кюри) исчезают (точка Кюри для железа – 768°C). Выше этой температуры металлы становятся парамагнетиками. Магнитные превращения не связаны с изменением кристаллической решетки или микроструктуры, они обусловлены изменениями в характере межэлектронного взаимодействия.

3.5 Строение реальных металлов. Дефекты кристаллического строения

Из жидкого расплава можно вырастить монокристалл. Их обычно используют в лабораториях для изучения свойств того или иного вещества.

Металлы и сплавы, полученные в обычных условиях, состоят из большого количества кристаллов, то есть, имеют поликристаллическое строение. Эти кристаллы называются зернами. Они имеют неправильную форму и различно ориентированы в пространстве. Каждое зерно имеет свою ориентировку кристаллической решетки, отличную от ориентировки соседних зерен, вследствие чего свойства реальных металлов усредняются, и явления анизотропии не наблюдается

В кристаллической решетке реальных металлов имеются различные дефекты (несовершенства), которые нарушают связи между атомами и оказывают влияние на свойства металлов. Различают следующие структурные несовершенства:

- точечные – малые во всех трех измерениях;
- линейные – малые в двух измерениях и сколь угодно протяженные в третьем;
- поверхностные – малые в одном измерении.

Точечные дефекты.

Одним из распространенных несовершенств кристаллического строения является наличие точечных дефектов: вакансий, дислоцированных атомов и примесей (рисунке 3.4).

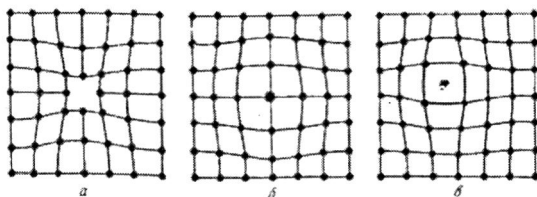


Рисунок 3.4 – Точечные дефекты

Вакансия, – отсутствие атомов в узлах кристаллической решетки, «дырки», которые образовались в результате различных причин. Образуется при переходе атомов с поверхности в окружающую среду или из узлов решетки на поверхность (границы зерен, пустоты, трещины и т. д.), в результате пластической деформации, при бомбардировке тела атомами или частицами высоких энергий (облучение в циклотроне или нейтронной облучение в ядерном реакторе). Концентрация вакансий в значительной степени определяется температурой тела. Перемещаясь по кристаллу, одиночные вакансии могут встречаться. И объединяться в дивакансии.

Скопление многих вакансий может привести к образованию пор и пустот.

Дислоцированный атом – это атом, вышедший из узла решетки и занявший место в междоузлии. Концентрация дислоцированных атомов значительно меньше, чем вакансий, так как для их образования требуются существенные затраты энергии. При этом на месте переместившегося атома образуется вакансия.

Примесные атомы всегда присутствуют в металле, так как практически невозможно выплавить химически чистый металл. Они могут иметь размеры больше или меньше размеров основных атомов и располагаются в узлах решетки или междоузлиях.

Точечные дефекты вызывают незначительные искажения решетки, что может привести к изменению свойств тела (электропроводность, магнитные свойства), их наличие способствует процессам диффузии и протеканию фазовых превращений в твердом состоянии. При перемещении по материалу дефекты могут взаимодействовать.

Линейные дефекты.

Основными линейными дефектами являются дислокации. Дислокация – это дефекты кристаллического строения, представляющие собой линии, вдоль и вблизи которых нарушено характерное для кристалла правильное расположение атомных плоскостей.

3.6 Простейшие виды дислокаций – краевые и винтовые

Краевая дислокация представляет собой линию, вдоль которой обрывается внутри кристалла край “лишней” полуплоскости (рисунок 3.5)

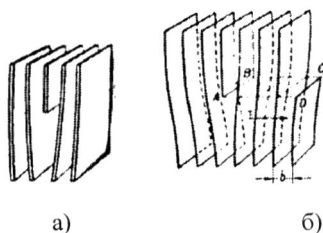


Рисунок 3.5 – Краевая дислокация (а) и механизм ее образования (б)

Неполная плоскость называется экстраплоскостью.

Большинство дислокаций образуются путем сдвигового механизма. Ее образование можно описать при помощи следующей операции. Надрезать кристалл по плоскости ABCD, сдвинуть нижнюю часть относительно верхней на один период решетки в направлении, перпендикулярном АВ, а затем вновь сблизить атомы на краях разреза вниз.

Наибольшие искажения в расположении атомов в кристалле имеют место вблизи нижнего края экстраплоскости. Вправо и влево от края экстраплоскости эти искажения малы (несколько периодов решетки), а вдоль края экстраплоскости искажения простираются через весь кристалл и могут быть очень велики (тысячи периодов решетки) (рисунок 3.6).

Если экстраплоскость находится в верхней части кристалла, то краевая дислокация – положительная (\perp), если в нижней, то – отрицательная (\top). Дислокации одного знака отталкиваются, а противоположные притягиваются.

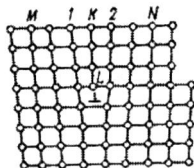


Рисунок 3.6 – Искажения в кристаллической решетке при наличии краевой дислокации

Винтовая дислокация получена при помощи частичного сдвига по плоскости Q вокруг линии EF (рисунок 3.7) На поверхности кристалла образуется ступенька, проходящая от точки E до края кристалла. Такой частичный сдвиг нарушает параллельность атомных слоев, кристалл превращается в одну атомную плоскость, закрученную по винту в виде полого геликоида вокруг линии EF, которая представляет границу, отделяющую часть плоскости скольжения, где сдвиг уже произошел, от части, где сдвиг не начинался. Вдоль линии EF наблюдается макроскопический характер области несовершенства, в других направлениях ее размеры составляют несколько периодов.

Если переход от верхних горизонтов к нижним осуществляется поворотом по часовой стрелке, то дислокация правая, а если поворотом против часовой стрелки – левая.

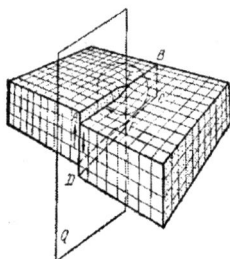


Рисунок 3.7 – Механизм образования винтовой дислокации

Винтовая дислокация не связана с какой-либо плоскостью скольжения, она может перемещаться по любой плоскости, проходящей через линию дислокации. Вакансии и дислоцированные атомы к винтовой дислокации не стекают.

В процессе кристаллизации атомы вещества, выпадающие из пара или раствора, легко присоединяются к ступеньке, что приводит к спиральному механизму роста кристалла.

Линии дислокаций не могут обрываться внутри кристалла, они должны либо быть замкнутыми, образуя петлю, либо разветвляться на несколько дислокаций, либо выходить на поверхность кристалла.

Дислокационная структура материала характеризуется плотностью дислокаций.

Плотность дислокаций в кристалле определяется как среднее число линий дислокаций, пересекающих внутри тела площадку площадью 1 м^2 , или как суммарная длина линий дислокаций в объеме 1 м^3 .

Плотность дислокаций изменяется в широких пределах и зависит от состояния материала. После тщательного отжига плотность дислокаций составляет $10^5 \dots 10^7 \text{ м}^{-2}$, в кристаллах с сильно деформированной кристаллической решеткой плотность дислокаций достигает $10^{15} \dots 10^{16} \text{ м}^{-2}$.

Дислокации влияют не только на прочность и пластичность, но и на другие свойства кристаллов. С увеличением плотности дислокаций возрастает внутреннее, изменяются оптические свойства, повышается электросопротивление металла. Дислокации увеличивают среднюю

скорость диффузии в кристалле, ускоряют старение и другие процессы, уменьшают химическую стойкость, поэтому в результате обработки поверхности кристалла специальными веществами в местах выхода дислокаций образуются ямки.

3.7 Кристаллизация металлов. Методы исследования металлов

Любое вещество может находиться в трех агрегатных состояниях: твердом, жидком, газообразном. Возможен переход из одного состояния в другое, если новое состояние в новых условиях является более устойчивым, обладает меньшим запасом энергии.

С изменением внешних условий свободная энергия изменяется по сложному закону различно для жидкого и кристаллического состояний. Характер изменения свободной энергии жидкого и твердого состояний с изменением температуры показан на рисунке 3.8.

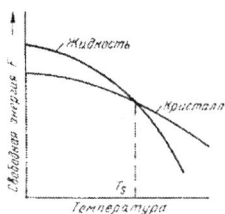


Рисунок 3.8 – Изменение свободной энергии в зависимости от температуры

В соответствии с этой схемой выше температуры T_s вещество должно находиться в жидком состоянии, а ниже T_s – в твердом.

При температуре равной T_s жидкая и твердая фаза обладают одинаковой энергией, металл в обоих состояниях находится в равновесии, поэтому две фазы могут существовать одновременно бесконечно долго. Температура T_s – равновесная или теоретическая температура кристаллизации.

Для начала процесса кристаллизации необходимо, чтобы процесс был термодинамически выгоден системе и сопровождался уменьшением свободной энергии системы. Это возможно при охлаждении жидкости ниже температуры T_s . Температура, при

которой практически начинается кристаллизация называется фактической температурой кристаллизации.

Охлаждение жидкости ниже равновесной температуры кристаллизации называется переохлаждением, которое характеризуется степенью переохлаждения (ΔT):

$$\Delta T = T_{теор} - T_{факт} \quad (3.1)$$

Степень переохлаждения зависит от природы металла, от степени его загрязненности (чем чище металл, тем больше степень переохлаждения), от скорости охлаждения (чем выше скорость охлаждения, тем больше степень переохлаждения).

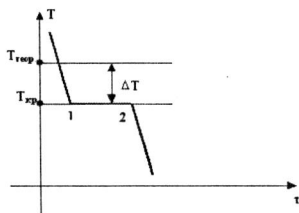
Рассмотрим переход металла из жидкого состояния в твёрдое.

При нагреве всех кристаллических тел наблюдается четкая граница перехода из твердого состояния в жидкое. Такая же граница существует при переходе из жидкого состояния в твёрдое.

Кристаллизация – это процесс образования участков кристаллической решетки в жидкой фазе и рост кристаллов из образовавшихся центров.

Кристаллизация протекает в условиях, когда система переходит к термодинамически более устойчивому состоянию с минимумом свободной энергии.

Процесс перехода металла из жидкого состояния в кристаллическое можно изобразить кривыми в координатах время – температура. Кривая охлаждения чистого металла представлена на рисунке 3.9.



$T_{теор}$ – теоретическая температура кристаллизации; $T_{факт}$ – фактическая температура кристаллизации.

Рисунок 3.9 – Кривая охлаждения чистого металла

Процесс кристаллизации чистого металла:

До точки 1 охлаждается металл в жидком состоянии, процесс сопровождается плавным понижением температуры. На участке 1 – 2 идет процесс кристаллизации, сопровождающийся выделением тепла, которое называется скрытой теплотой кристаллизации. Оно компенсирует рассеивание теплоты в пространство, и поэтому температура остается постоянной. После окончания кристаллизации в точке 2 температура снова начинает снижаться, металл охлаждается в твердом состоянии.

3.8 Механизм и закономерности кристаллизации металлов

При соответствующем понижении температуры в жидком металле начинают образовываться кристаллики – центры кристаллизации или зародыши. Для начала их роста необходимо уменьшение свободной энергии металла, в противном случае зародыш растворяется.

Минимальный размер способного к росту зародыша называется критическим размером, а зародыш – устойчивым.

Переход из жидкого состояния в кристаллическое требует затраты энергии на образование поверхности раздела жидкость – кристалл. Процесс кристаллизации будет осуществляться, когда выигрыш от перехода в твердое состояние больше потери энергии на образование поверхности раздела. Зародыши с размерами равными и большими критического растут с уменьшением энергии и поэтому способны к существованию.

Механизм кристаллизации представлен на рисунке 3.10.

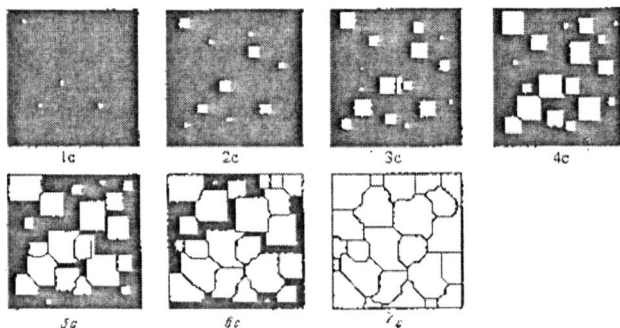


Рисунок 3.10 – Модель процесса кристаллизации

Центры кристаллизации образуются в исходной фазе независимо друг от друга в случайных местах. Сначала кристаллы имеют правильную форму, но по мере столкновения и срастания с другими кристаллами форма нарушается. Рост продолжается в направлениях, где есть свободный доступ питающей среды. После окончания кристаллизации имеем поликристаллическое тело.

Качественная схема процесса кристаллизации может быть представлена количественно кинетической кривой (рисунке 3.11).

Процесс вначале ускоряется, пока столкновение кристаллов не начинает препятствовать их росту. Объем жидкой фазы, в которой образуются кристаллы уменьшается. После кристаллизации 50 % объема металла, скорость кристаллизации будет замедляться.

Таким образом, процесс кристаллизации состоит из образования центров кристаллизации и роста кристаллов из этих центров.

Размеры образовавшихся кристаллов зависят от соотношения числа образовавшихся центров кристаллизации и скорости роста кристаллов при температуре кристаллизации.

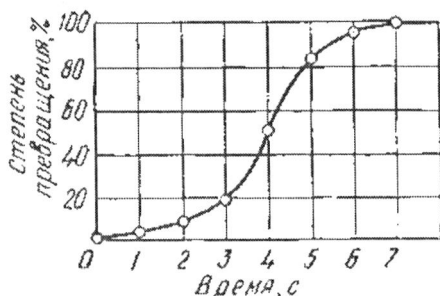


Рисунок 3.11 – Кинетическая кривая процесса кристаллизации

При равновесной температуре кристаллизации T_S число образовавшихся центров кристаллизации и скорость их роста равняются нулю, поэтому процесса кристаллизации не происходит.

Если металл очень сильно переохладить, то число центров и скорость роста кристаллов равны нулю, жидкость не кристаллизуется, образуется аморфное тело. Для металлов, обладающих малой склонностью к переохлаждению, экспериментально обнаруживаются только восходящие ветви кривых.

3.9 Условия получения мелкозернистой структуры

Стремятся к получению мелкозернистой структуры. Оптимальными условиями для этого являются: максимальное число центров кристаллизации и малая скорость роста кристаллов.

Размер зерен при кристаллизации зависит и от числа частичек нерастворимых примесей, которые играют роль готовых центров кристаллизации – оксиды, нитриды, сульфиды.

Чем больше частичек, тем мельче зерна закристаллизовавшегося металла.

Стенки изложниц имеют неровности, шероховатости, которые увеличивают скорость кристаллизации.

Мелкозернистую структуру можно получить в результате модифицирования, когда в жидкие металлы добавляются посторонние вещества – модификаторы.

По механизму воздействия различают:

1) Вещества не растворяющиеся в жидком металле – выступают в качестве дополнительных центров кристаллизации.

2) Поверхностно - активные вещества, которые растворяются в металле, и, осаждаясь на поверхности растущих кристаллов, препятствуют их росту.

3.10 Строение металлического слитка

Схема стального слитка, данная Черновым Д.К., представлена на рисунке 3.12.

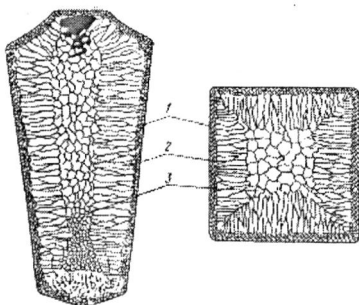


Рисунок 3.12 – Схема стального слитка

Слиток состоит из трех зон:

1) мелкокристаллическая корковая зона;

- 2) зона столбчатых кристаллов;
- 3) внутренняя зона крупных равноосных кристаллов.

Кристаллизация корковой зоны идет в условиях максимального переохлаждения. Скорость кристаллизации определяется большим числом центров кристаллизации. Образуется мелкозернистая структура.

Жидкий металл под корковой зоной находится в условиях меньшего переохлаждения. Число центров ограничено и процесс кристаллизации реализуется за счет их интенсивного роста до большого размера.

Рост кристаллов во второй зоне имеет направленный характер. Они растут перпендикулярно стенкам изложницы, образуются древовидные кристаллы – дендриты (рисунок 3.13). Растут дендриты с направлением, близким к направлению теплоотвода.

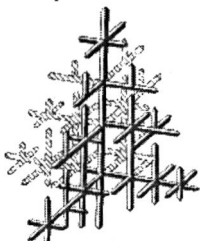


Рисунок 3.13 – Схема дендрита по Чернову Д.К.

Так как теплоотвод от незакристаллизовавшегося металла в середине слитка в разные стороны выравнивается, то в центральной зоне образуются крупные дендриты со случайной ориентацией.

Зоны столбчатых кристаллов в процессе кристаллизации стыкуются, это явление называется транскристаллизацией.

Для малопластичных металлов и для сталей это явление нежелательное, так как при последующей прокатке, ковке могут образовываться трещины в зоне стыка.

В верхней части слитка образуется усадочная раковина, которая подлежит отрезке и переплавке, так как металл более рыхлый (около 15...20 % от длины слитка)

Металлы и сплавы обладают разнообразными свойствами. Используя один метод исследования металлов, невозможно получить информацию о всех свойствах. Используют несколько методов анализа.

Определение химического состава.

Используются методы количественного анализа.

1) Если не требуется большой точности, то используют спектральный анализ.

Спектральный анализ основан на разложении и исследовании спектра электрической дуги или искры, искусственно возбуждаемой между медным электродом и исследуемым металлом.

Зажигается дуга, луч света через призмы попадает в окуляр для анализа спектра. Цвет и концентрация линий спектра позволяют определить содержание химических элементов.

Используются стационарные и переносные стилоскопы.

2) Более точные сведения о составе дает рентгеноспектральный анализ.

Проводится на микроанализаторах. Позволяет определить состав фаз сплава, характеристики диффузионной подвижности атомов.

3.11 Изучение структуры

Различают макроструктуру, микроструктуру и тонкую структуру.

1) Макроструктурный анализ – изучение строения металлов и сплавов невооруженным глазом или при небольшом увеличении, с помощью лупы.

Осуществляется после предварительной подготовки исследуемой поверхности (шлифование и травление специальными реактивами).

Позволяет выявить и определить дефекты, возникшие на различных этапах производства литых, кованных, штампованных и катанных заготовок, а также причины разрушения деталей.

Устанавливают: вид излома (вязкий, хрупкий); величину, форму и расположение зерен и дендритов литого металла; дефекты, нарушающие сплошность металла (усадочную пористость, газовые пузыри, раковины, трещины); химическую неоднородность металла, вызванную процессами кристаллизации или созданную термической и химико-термической обработкой; волокна в деформированном металле.

2) Микроструктурный анализ – изучение поверхности при помощи световых микроскопов. Увеличение – 50...2000 раз. Позволяет обнаружить элементы структуры размером до 0,2 мкм.

Образцы – микрошлифы с блестящей полированной поверхностью, так как структура рассматривается в отраженном свете. Наблюдаются микротрещины и неметаллические включения.

Для выявления микроструктуры поверхность травят реактивами, зависящими от состава сплава. Различные фазы протравливаются неодинаково и окрашиваются по разному. Можно выявить форму,

размеры и ориентировку зерен, отдельные фазы и структурные составляющие.

Кроме световых микроскопов используют электронные микроскопы с большой разрешающей способностью.

Изображение формируется при помощи потока быстро летящих электронов. Электронные лучи с длиной волны $(0,04...0,12) \cdot 10^{-8}$ см дают возможность различать детали объекта, по своим размерам соответствующе межатомным расстояниям.

Просвечивающие микроскопы. Поток электронов проходит через изучаемый объект. Изображение является результатом неодинакового рассеяния электронов на объекте. Различают косвенные и прямые методы исследования.

При косвенном методе изучают не сам объект, а его отпечаток – кварцевый или угольный слепок (реплику), отображающую рельеф микрошлифа, для предупреждения вторичного излучения, искажающего картину.

При прямом методе изучают тонкие металлические фольги, толщиной до 300 нм, на просвет. Фольги получают непосредственно из изучаемого металла.

Растровые микроскопы. Изображение создается за счет вторичной эмиссии электронов, излучаемых поверхностью, на которую падает непрерывно перемещающийся по этой поверхности поток первичных электронов. Изучается непосредственно поверхность металла. Разрешающая способность несколько ниже, чем у просвечивающих микроскопов.

3) Для изучения атомно-кристаллического строения твердых тел (тонкое строение) используются рентгенографические методы, позволяющие устанавливать связь между химическим составом, структурой и свойствами тела, тип твердых растворов, микронапряжения, концентрацию дефектов, плотность дислокаций.

3.12 Физические методы исследования

1) Термический анализ основан на явлении теплового эффекта. Фазовые превращения в сплавах сопровождаются тепловым эффектом, в результате на кривых охлаждения сплавов при температурах фазовых превращений наблюдаются точки перегиба или температурные остановки. Данный метод позволяет определить критические точки.

2) Дилатометрический метод.

При нагреве металлов и сплавов происходит изменение объема и линейных размеров – тепловое расширение. Если изменения

обусловлены только увеличением энергии колебаний атомов, то при охлаждении размеры восстанавливаются. При фазовых превращениях изменения размеров – необратимы.

Метод позволяет определить критические точки сплавов, температурные интервалы существования фаз, а также изучать процессы распада твердых растворов.

3) Магнитный анализ.

Используется для исследования процессов, связанных с переходом из парамагнитного состояния в ферромагнитное (или наоборот), причем возможна количественная оценка этих процессов.

3.13 Общая теория сплавов. Строение, кристаллизация и свойства сплавов. Диаграмма состояния

Под сплавом понимают вещество, полученное сплавлением двух или более элементов. Возможны другие способы приготовления сплавов: спекания, электролиз, возгонка. В этом случае вещества называются псевдосплавами.

Сплав, приготовленный преимущественно из металлических элементов и обладающий металлическими свойствами, называется металлическим сплавом. Сплавы обладают более разнообразным комплексом свойств, которые изменяются в зависимости от состава и метода обработки.

Основные понятия в теории сплавов.

Система – группа тел выделяемых для наблюдения и изучения.

В металловедении системами являются металлы и металлические сплавы. Чистый металл является простой однокомпонентной системой, сплав – сложной системой, состоящей из двух и более компонентов.

Компоненты – вещества, образующие систему. В качестве компонентов выступают чистые вещества и химические соединения, если они не диссоциируют на составные части в исследуемом интервале температур.

Фаза – однородная часть системы, отделенная от других частей системы поверхностного раздела, при переходе через которую структура и свойства резко меняются.

Вариантность (С) (число степеней свободы) – это число внутренних и внешних факторов (температура, давление, концентрация), которые можно изменять без изменения количества фаз в системе.

Если вариантность $C = 1$ (моновариантная система), то возможно изменение одного из факторов в некоторых пределах, без изменения числа фаз.

Если вариантность $C = 0$ (инвариантная система), то внешние факторы изменять нельзя без изменения числа фаз.

Существует математическая связь между числом компонентов (K), числом фаз (Φ) и вариантностью системы (C). Это правило фаз или закон Гиббса

$$C = K - \Phi + 2 \quad (3.2)$$

Если принять, что все превращения происходят при постоянном давлении, то число переменных уменьшится

$$C = K - \Phi + 1 \quad (3.3)$$

где C – число степеней свободы;

K – число компонентов;

Φ – число фаз;

1 – учитывает возможность изменения температуры.

Особенности строения, кристаллизации и свойств сплавов: механических смесей, твердых растворов, химических соединений.

Строение металлического сплава зависит от того, в какие взаимодействия вступают компоненты, составляющие сплав. Почти все металлы в жидком состоянии растворяются друг в друге в любых соотношениях. При образовании сплавов в процессе их затвердевания возможно различное взаимодействие компонентов.

В зависимости от характера взаимодействия компонентов различают сплавы:

- 1) механические смеси;
- 2) химические соединения;
- 3) твердые растворы.

Сплавы механические смеси образуются, когда компоненты не способны к взаимному растворению в твердом состоянии и не вступают в химическую реакцию с образованием соединения.

Образуются между элементами значительно различающимися по строению и свойствам, когда сила взаимодействия между однородными атомами больше чем между разнородными. Сплав состоит из кристаллов входящих в него компонентов (рисунок 3.14). В сплавах сохраняются кристаллические решетки компонентов.

Сплавы химические соединения образуются между элементами, значительно различающимися по строению и свойствам, если сила взаимодействия между разнородными атомами больше, чем между однородными.

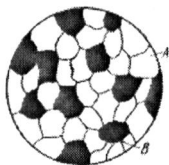


Рисунок 3.14 – Схема микроструктуры механической смеси

Особенности этих сплавов:

- 1) Постоянство состава, то есть сплав образуется при определенном соотношении компонентов;
- 2) Образуется специфическая, отличающаяся от решеток элементов, составляющих химическое соединение, кристаллическая решетка с правильным упорядоченным расположением атомов (рисунок 3.15);
- 3) Ярко выраженные индивидуальные свойства;
- 4) Постоянство температуры кристаллизации, как у чистых компонентов.

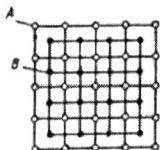


Рисунок 3.15 – Кристаллическая решетка химического соединения

Сплавы твердые растворы – это твердые фазы, в которых соотношения между компонентами могут изменяться. Являются кристаллическими веществами.

Характерной особенностью твердых растворов является: наличие в их кристаллической решетке разнородных атомов, при сохранении типа решетки растворителя.

Твердый раствор состоит из однородных зерен (рисунок 3.16).

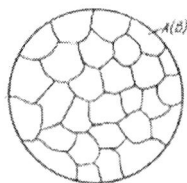


Рисунок 3.16 – Схема микроструктуры твердого раствора

3.14 Классификация сплавов твердых растворов

По степеням растворимости компонентов различают твердые растворы:

- с неограниченной растворимостью компонентов;
- с ограниченной растворимостью компонентов.

При неограниченной растворимости компонентов кристаллическая решетка компонента растворителя по мере увеличения концентрации растворенного компонента плавно переходит в кристаллическую решетку растворенного компонента.

Для образования растворов с неограниченной растворимостью необходимы:

- 1) изоморфность (однотипность) кристаллических решеток компонентов;
- 2) близость атомных радиусов компонентов, которые не должны отличаться более чем на 8...13 %.
- 3) близость физико-химических свойств подобных по строению валентных оболочек атомов.

При ограниченной растворимости компонентов возможна концентрация растворенного вещества до определенного предела. При дальнейшем увеличении концентрации однородный твердый раствор распадается с образованием двухфазной смеси.

По характеру распределения атомов растворенного вещества в кристаллической решетке растворителя различают твердые растворы: замещения; внедрения; вычитания.

В растворах замещения в кристаллической решетке растворителя часть его атомов замещена атомами растворенного элемента (рисунок 3.17, а). Замещение осуществляется в случайных местах, поэтому такие растворы называют неупорядоченными твердыми растворами.

При образовании растворов замещения периоды решетки изменяются в зависимости от разности атомных диаметров растворенного элемента и растворителя. Если атом растворенного элемента больше атома растворителя, то элементарные ячейки

увеличиваются, если меньше – сокращаются. В первом приближении это изменение пропорционально концентрации растворенного компонента. Изменение параметров решетки при образовании твердых растворов – важный момент, определяющий изменение свойств. Уменьшение параметра ведет к большему упрочнению, чем его увеличение.

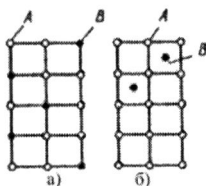


Рисунок 3.17 – Кристаллическая решетка твердых растворов замещения (а), внедрения (б)

Твердые растворы внедрения образуются внедрением атомов растворенного компонента в поры кристаллической решетки растворителя (рисунок 3.17, б).

Образование таких растворов, возможно, если атомы растворенного элемента имеют малые размеры. Такими являются элементы, находящиеся в начале периодической системы Менделеева, углерод, водород, азот, бор. Размеры атомов превышают размеры межатомных промежутков в кристаллической решетке металла, это вызывает искажение решетки и в ней возникают напряжения. Концентрация таких растворов не превышает 2-2.5%

Твердые растворы вычитания или растворы с дефектной решеткой образуются на базе химических соединений, при этом возможна не только замена одних атомов в узлах кристаллической решетки другими, но и образование пустых, не занятых атомами, узлов в решетке.

К химическому соединению добавляют, один из входящих в формулу элементов, его атомы занимают нормальное положение в решетке соединения, а места атомов другого элемента остаются, незанятыми.

3.15 Кристаллизация сплавов

Кристаллизация сплавов подчиняется тем же закономерностям, что и кристаллизация чистых металлов. Необходимым условием

является стремление системы в состояние с минимумом свободной энергии.

Основным отличием является большая роль диффузионных процессов, между жидкостью и кристаллизующейся фазой. Эти процессы необходимы для перераспределения разнородных атомов, равномерно распределенных в жидкой фазе.

В сплавах в твердых состояниях, имеют место процессы перекристаллизации, обусловленные аллотропическими превращениями компонентов сплава, распадом твердых растворов, выделением из твердых растворов вторичных фаз, когда растворимость компонентов в твердом состоянии меняется с изменением температуры.

Эти превращения называют фазовыми превращениями в твердом состоянии.

При перекристаллизации в твердом состоянии образуются центры кристаллизации и происходит их рост.

Обычно центры кристаллизации возникают по границам зерен старой фазы, где решетка имеет наиболее дефектное строение, и где имеются примеси, которые могут стать центрами новых кристаллов. У старой и новой фазы, в течение некоторого времени, имеются общие плоскости. Такая связь решеток называется когерентной связью. В случае различия строения старой и новой фаз превращение протекает с образованием промежуточных фаз.

Нарушение когерентности и обособления кристаллов наступает, когда они приобретут определенные размеры.

Процессы кристаллизации сплавов изучаются по диаграммам состояния.

3.16 Структуры железоуглеродистых сплавов

Железоуглеродистые сплавы – стали и чугуны, важнейшие металлические сплавы современной техники. Производство чугуна и стали по объему превосходит производство всех других металлов вместе взятых более чем в десять раз.

В сплавах при охлаждении происходят изменения и образуются новые фазы и структуры. Эти изменения можно определить по диаграмме состояния. Диаграммой состояния называется графическое изображение, показывающее в условиях равновесия фазовый состав и структуру сплавов в зависимости от температуры и химической концентрации компонентов.

Фаза – однородная часть системы, отделенная от других частей поверхностью раздела, при переходе через которую свойства сплава изменяются скачкообразно.

При построении диаграмм состояния используют термический метод, т. е. строят кривые охлаждения для каждого сплава. Сплавы металлов характеризуются различными типами диаграмм состояния. Большое практическое значение имеет диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов.

Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов.

В зависимости от температуры и концентрации углерода железоуглеродистые сплавы имеют следующие составляющие:

1) Аустенит – твердый раствор углерода в γ - железе с предельной концентрацией 2,14 % С при температуре 1147 °С; с понижением температуры до 727 °С концентрация снижается до 0,8% С; сталь со структурой аустенита, немагнитна и имеет хорошую пластичность и вязкость;

2) Феррит – твердый раствор углерода в α -железе с предельной концентрацией углерода 0,02 % при температуре 727 °С; сталь со структурой феррита ферромагнитна, имеет малую твердость и высокую пластичность;

3) Цементит – химическое соединение железа с углеродом (6,67 % С); имеет высокую твердость и хрупкость;

4) Перлит – механическая смесь феррита и цементита, образующая при эвтектоидном распаде аустенита (0,8 % С); сталь, имеющая структуру перлита, обладает повышенной прочностью и твердостью;

5) Ледебурит – механическая смесь (эвтектика) аустенита и цементита (4,3 % С); ниже температуры 727 °С аустенит в ледебурите превращается в перлит, при этом образуется смесь перлита и цементита – превращённый в ледебурит;

6) Графит – углерод в свободном состоянии, располагается в основной массе металла и имеет развитую объемную форму в виде пластинок или завихрений; кроме пластинчатого графита, можно получить графит компактных форм (шаровидный или хлопьевидный), образующийся за счет распада цементита или выделяющийся из пересыщенных твердых растворов железа с углеродом.

Кроме указанных основных составляющих, в железоуглеродистых сплавах могут быть нежелательные неметаллические включения: фосфиды, окислы, нитриды, сульфиды.

Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов. Основные свойства стали определяются содержанием ее главной примеси-

углерода. Взаимодействие углерода с α - или β - модификациями железа приводит к образованию железоуглеродистых сплавов, различных по строению и свойствам. Построение диаграммы состояния железо-цементит дает представление о температурных и концентрационных границах существования этих сплавов.

В цементите содержится 6,67 % С. Сплавы с более высоким содержанием углерода не применяют.

Диаграмма состояния железо – цементит представлена на рисунке 3.18.

Линия ACD является линией ликвидуса, выше которой сплав находится в жидком состоянии; линия AECF – линией солидуса, ниже которой сплав находится в твердом состоянии. При температурах, соответствующих этой линии, заканчивается первичная кристаллизация. В точке С при 4,3 % С линия ликвидуса соприкасается с линией солидуса, и кристаллизация сплава происходит при постоянной температуре 1147 °С.

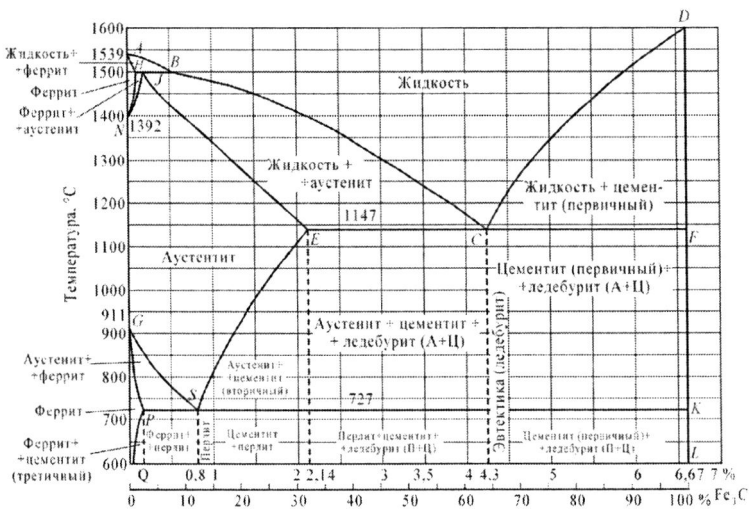


Рисунок 3.18 – Диаграмма состояния железо-цементит

Линия PSK – эвтектоидная линия, на которой заканчивается процесс вторичной кристаллизации. Линия нижних критических точек – линия A₁. Линия GSE – начало процесса вторичной кристаллизации

из твердого раствора. Линия GS – линия верхних кристаллических точек A_3 ; она показывает температуру начала выделения феррита из аустенита. Линия SE – линия верхних критических точек A_m ; она показывает температуру начала выделения вторичного цементита и является линией предельной растворимости углерода в аустените. Сплавы, содержащие до 2,14 % C, условно называют, сталями, свыше 2,14 % C – чугунами. Сталь, содержащая 0,8 % C, называется эвтектоидной сталью; сталь, содержащая 0,02 – 0,8 % C, – доэвтектоидной сталью и содержит феррит и перлит. Стали, содержащие более 0,8 % C, относятся к заэвтектоидным сталям и содержат перлит и цементит.

Чугун, содержащий 4,3 % C, называют эвтектическим, менее 4,3 % C – доэвтектическим и более 4,3 % C – заэвтектическим. Чугуны без свободного графита только с ледебуритом называют белыми, в изломе они имеют белый цвет.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение понятий «сплав», «компонент», «фаза».
2. Какое слово является ключевым в определении понятия «фаза»?
3. Перечислите основные типы кристаллических фаз в металлических сплавах?
4. Что такое твердый раствор? Какие типы твердых растворов существуют?
5. В чем принципиальное отличие химических соединений от твердых растворов? Как отличаются механические свойства этих фаз?
6. В каких координатах строятся диаграммы состояния?
7. Какова роль диаграмм состояния в курсе материаловедения?

Тестовые задания

1. Что называется ликвацией?

- А) неоднородность по химическому составу по сечению кристалла;
- В) неравномерность в расположении составляющих сплава по его поверхности;
- С) равномерность в расположении составляющих сплава по его поверхности;
- Д) расположение механических составляющих по поверхности сплава;

Е) расположение одной составляющей только в центре поверхности.

2. Что называется системой?

- А) совокупность фаз, находящихся в равновесии;
- В) любые три фазы, входящие в состав сплава;
- С) неравновесная одна фаза;
- Д) совокупность неравновесных фаз;
- Е) любая одна фаза сплава.

3. Что называется структурой металла или сплава?

- А) характер и взаимное расположение фаз в металле или сплаве;
- В) типы размеры и расположение фаз;
- С) особенность расположения и размеры фаз;
- Д) особенности расположения и количество фаз;
- Е) размер и вес фаз.

4. Что называется анизотропией?

- А) неодинаковость свойств в различных плоскостях и направлениях решетки;
- В) одинаковость свойств в одном направлении решетки;
- С) разные свойства в одном направлении;
- Д) одинаковость свойств в перпендикулярных направлениях;
- Е) одинаковость свойств в параллельных направлениях.

5. Что такое аллотропия?

- А) изменение типа кристаллической решетки при изменении внешних условий;
- В) рост кристаллической решетки при постоянной температуре;
- С) деление кристаллической решетки при постоянной температуре;
- Д) устойчивая кристаллическая решетка при изменении внешних условий;
- Е) рост кристаллической решетки при изменении внешних условий.

6. Какие фазы образуются в сплавах?

- А) расплавы, химические соединения, твердые растворы;
- В) расплавы, механические смеси, твердые растворы;
- С) химические соединения, твердые растворы, механические смеси;
- Д) расплавы, механические смеси;

Е) твердые растворы.

7. Что определяет кривая солидуса?

- А) конец процесса кристаллизации;
- В) начало процесса кристаллизации;
- С) 80 % процесса кристаллизации;
- Д) 20 % процесса кристаллизации;
- Е) 5 % процесса кристаллизации.

8. Что определяет кривая ликвидуса?

- А) начало процесса кристаллизации;
- В) конец процесса кристаллизации;
- С) 80 % процесса кристаллизации;
- Д) 20 % процесса кристаллизации;
- Е) 5 % процесса кристаллизации.

9. Что называется кристаллической решеткой?

А) кристаллическая решетка представляет собой каркас из малоподвижных положительно заряженных ионов, в промежутках которого с огромной скоростью движутся свободные электроны;

В) кристаллическая решетка представляет собой каркас из малоподвижных положительно заряженных ионов, в промежутках которого с малой скоростью движутся катионы;

С) кристаллическая решетка представляет собой плоскую решетку, внутри которой движутся атомы;

Д) кристаллическая решетка представляет собой реальную решетку, в которой атомы расположены в центре;

Е) кристаллическая решетка представляет собой твердое тело, атомы в котором расположены в междоузлиях.

10. Что такое точка Кюри?

А) температура, при которой тело теряет полностью ферромагнитные свойства;

В) температура, при которой тело не теряет полностью ферромагнитные свойства;

С) температура, при которой тело теряет половину ферромагнитных свойств;

Д) температура, при которой тело теряет парамагнитные свойства;

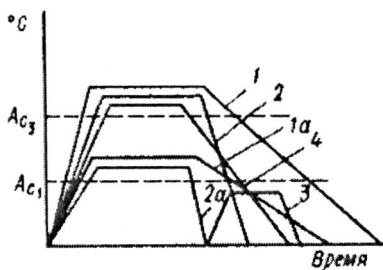
Е) температура, при которой тело теряет на половину парамагнитные свойства.

4 Термическая обработка стали

4.1 Виды термической обработки металлов

Свойства сплава зависят от его структуры. Основным способом, позволяющим изменять структуру, а, следовательно, и свойства является термическая обработка.

Термическая обработка представляет собой совокупность операций нагрева, выдержки и охлаждения, выполняемых в определенной последовательности при определенных режимах, с целью изменения внутреннего строения сплава и получения нужных свойств (представляется в виде графика в осях температура – время, рисунок 4.1).



отжига (1, 1а), закалки (2, 2а), отпуска (3), нормализации (4)

Рисунок 4.1 – Графики различных видов термообработки

Различают следующие виды термической обработки:

1) Отжиг 1 рода – возможен для любых металлов и сплавов.

Его проведение не обусловлено фазовыми превращениями в твердом состоянии.

Нагрев, при отжиге первого рода, повышая подвижность атомов, частично или полностью устраняет химическую неоднородность, уменьшает внутреннее напряжения.

Основное значение имеет температура нагрева и время выдержки. Характерным является медленное охлаждение

Разновидностями отжига первого рода являются:

- диффузионный;
- рекристаллизационный;
- отжиг для снятия напряжения послековки, сварки, литья.

2) Отжиг II рода – отжиг металлов и сплавов, испытывающих фазовые превращения в твердом состоянии при нагреве и охлаждении.

Проводится для сплавов, в которых имеются полиморфные или эвтектичные превращения, а также переменная растворимость компонентов в твердом состоянии.

Проводят отжиг второго рода с целью получения более равновесной структуры и подготовки ее к дальнейшей обработке. В результате отжига измельчается зерно, повышаются пластичность и вязкость, снижаются прочность и твердость, улучшается обрабатываемость резанием.

Характеризуется нагревом до температур выше критических и очень медленным охлаждением, как правило, вместе с печью (рисунок 4.1 (1, 1а)).

3) Закалка – проводится для сплавов, испытывающих фазовые превращения в твердом состоянии при нагреве и охлаждении, с целью повышения твердости и прочности путем образования неравновесных структур (сорбит, троостит, мартенсит).

Характеризуется нагревом до температур выше критических и высокими скоростями охлаждения (рисунок 4.1 (2, 2а)).

4) Отпуск – проводится с целью снятия внутренних напряжений, снижения твердости и увеличения пластичности и вязкости закаленных сталей.

Характеризуется нагревом до температуры ниже критической A_1 (рисунок 4.1 (3)). Скорость охлаждения роли не играет. Происходят превращения, уменьшающие степень неравновесности структуры закаленной стали.

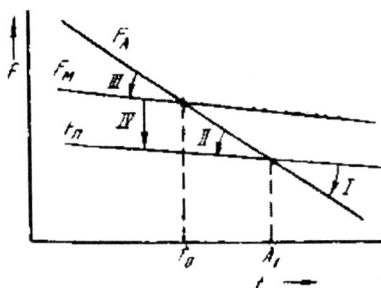
Термическую обработку подразделяют на предварительную и окончательную.

Предварительная – применяется для подготовки структуры и свойств материала для последующих технологических операций (для обработки давлением, улучшения обрабатываемости резанием).

Окончательная – формирует свойство готового изделия.

4.2 Превращения, протекающие в структуре стали при нагреве и охлаждении

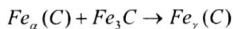
Любая разновидность термической обработки состоит из комбинации четырех основных превращений, в основе которых лежат стремления системы к минимуму свободной энергии (рисунок 4.2).



F_A – аустенита; F_M – мартенсита; F_{Π} – перлита

Рисунок 4.2 – Зависимость свободной энергии структурных составляющих сталей от температуры

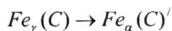
1) Превращение перлита в аустенит ($\Pi \rightarrow A$), происходит при нагреве выше критической температуры A_1 , минимальной свободной энергией обладает аустенит.



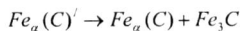
2) Превращение аустенита в перлит ($A \rightarrow \Pi$), происходит при охлаждении ниже A_1 , минимальной свободной энергией обладает перлит



3) Превращение аустенита в мартенсит ($A \rightarrow M$), происходит при быстром охлаждении ниже температуры неустойчивого равновесия



4) Превращение мартенсита в перлит ($M \rightarrow \Pi$); происходит при любых температурах, т.к. свободная энергия мартенсита больше, чем свободная энергия перлита

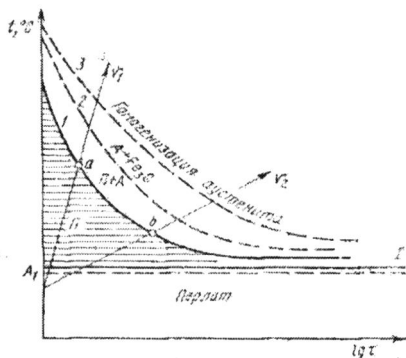


4.3 Механизм основных превращений

4.3.1 Превращение перлита в аустенит

Превращение основано на диффузии углерода, сопровождается полиморфным превращением $Fe_{\alpha} \rightarrow Fe_{\gamma}$, а так же растворением цементита в аустените.

Для исследования процессов строят диаграммы изотермического образования аустенита (рисунок 4.3). Для этого образцы нагревают до температуры выше A_1 и выдерживают, фиксируя начало и конец превращения.



1 – начало образования аустенита; 2 – конец преобразования перлита в аустенит; 3 – полное растворение цементита

Рисунок 4.3 – Диаграмма изотермического образования аустенита

С увеличением перегрева и скорости нагрева продолжительность превращения сокращается.

Механизм превращения представлен на рисунке 4.4.

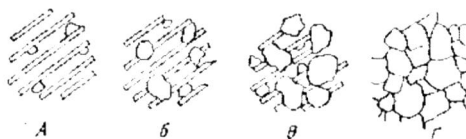


Рисунок 4.4 – Механизм превращения перлита в аустенит

Преобразование начинается с зарождения центров аустенитных зерен на поверхности раздела феррит – цементит, кристаллическая решетка Fe_α перестраивается в решетку Fe_γ .

Время превращения зависит от температуры, так как с увеличением степени перегрева уменьшается размер критического зародыша аустенита, увеличиваются скорость возникновения зародышей и скорость их роста.

Образующиеся зерна аустенита имеют вначале такую же концентрацию углерода, как и феррит. Затем в аустените начинает растворяться вторая фаза перлита – цементит, следовательно, концентрация углерода увеличивается. Превращение Fe_α в Fe_γ идет быстрее. После того, как весь цементит растворится, аустенит неоднороден по химическому составу: там, где находились пластинки цементита концентрация углерода более высокая. Для завершения процесса перераспределения углерода в аустените требуется дополнительный нагрев или выдержка.

Величина образовавшегося зерна аустенита оказывает влияние на свойства стали.

Рост зерна аустенита. Образующиеся зерна аустенита получают мелкими (начальное зерно). При повышении температуры или выдержке происходит рост зерна аустенита. Движущей силой роста является разность свободных энергий мелкозернистой (большая энергия) и крупнозернистой (малая энергия) структуры аустенита.

Стали различают по склонности к росту зерна аустенита. Если зерно аустенита начинает быстро расти даже при незначительном нагреве выше температуры A_1 , то сталь наследственно крупнозернистая. Если зерно растет только при большом перегреве, то сталь наследственно мелкозернистая.

Склонность к росту аустенитного зерна является плавочной характеристикой. Стали одной марки, но разных плавков могут различаться, так как содержат неодинаковое количество неметаллических включений, которые затрудняют рост аустенитного зерна.

Ванадий, титан, молибден, вольфрам, алюминий – уменьшают склонность к росту зерна аустенита, а марганец и фосфор – увеличивают ее.

Заэвтектоидные стали менее склонны к росту зерна.

При последующем охлаждении зерна аустенита не измельчаются. Это следует учитывать при назначении режимов термической обработки, так как от размера зерна зависят механические свойства.

Крупное зерно снижает сопротивление отрыву, ударную вязкость, повышает порог хладоломкости.

Различают величину зерна наследственного и действительного.

Для определения величины наследственного зерна, образцы нагревают до 930°C и затем определяют размер зерна.

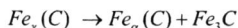
Действительная величина зерна – размер зерна при обычных температурах полученный после той или иной термической обработки.

Неправильный режим нагрева может привести либо к перегреву, либо к пережогу стали.

Перегрев. Нагрев доэвтектоидной стали значительно выше температуры A_3 приводит к интенсивному росту зерна аустенита. При охлаждении феррит выделяется в виде пластинчатых или игольчатых кристаллов. Такая структура называется видманштеттовой структурой и характеризуется пониженными механическими свойствами. Перегрев можно исправить повторным нагревом до оптимальных температур с последующим медленным охлаждением.

Пережог имеет место, когда температура нагрева приближается к температуре плавления. При этом наблюдается окисление границ зерен, что резко снижает прочность стали. Излом такой стали камневидный. Пережог – неисправимый брак.

4.3.2 Превращение аустенита в перлит при медленном охлаждении



Превращение связано с диффузией углерода, сопровождается полиморфным превращением $Fe_{\gamma} \rightarrow Fe_{\alpha}$, выделением углерода из аустенита в виде цементита, разрастанием образовавшегося цементита.

В зависимости от степени переохлаждения различают три области превращения. Вначале, с увеличением переохлаждения скорость превращения возрастает, а затем убывает. При температуре 727°C и ниже 200°C скорость равна нулю. При температуре 200°C равна нулю скорость диффузии углерода.

4.3.3 Закономерности превращения

Образцы нагревают до температуры, при которой структура состоит из однородного аустенита (770°C). Затем переносят в термостаты с заданной температурой (интервал $25 - 50^{\circ}\text{C}$). Превращение аустенита можно легко обнаружить с помощью наблюдений за изменением магнитных характеристик, так как

аустенит парамагнитен, а феррит и цементит обладают магнитными свойствами.

Получают серию кинетических кривых (рисунок 4.5 а), которые показывают количество образовавшегося перлита в зависимости от времени, прошедшего с начала превращения.

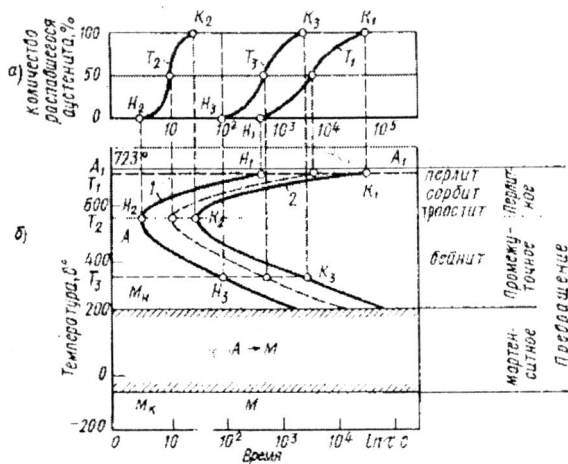


Рисунок 4.5 – Кинетические кривые превращения аустенита при охлаждении (а); диаграмма изотермического превращения аустенита (б)

В начале наблюдается инкубационный подготовительный период, время, в течение которого сохраняется переохлажденный аустенит. Превращение протекает с различной скоростью и достигает максимума при образовании 50 % продуктов распада.

Затем скорость начинает уменьшаться и постепенно затухает. С увеличением степени переохлаждения устойчивость аустенита уменьшается, а затем увеличивается.

Горизонтальная линия M_n показывает температуру начала бездиффузного мартенситного превращения. Такие диаграммы называются диаграммами изотермического превращения аустенита (рисунок 4.5, б).

При малых степенях переохлаждения, в области температур 727...550 °С, сущность превращения заключается в том, что в результате превращения аустенита образуется механическая смесь

феррита и цементита, состав которой отличается от состава исходного аустенита. Аустенит содержит 0,8 % углерода, а образующиеся фазы: феррит – 0,02 %, цементит – 6,67 % углерода.

Время устойчивости аустенита и скорость его превращения зависят от степени переохлаждения.

Максимальная скорость превращения соответствует переохлаждению ниже температуры A_1 на 150...200 °С, то есть соответствует минимальной устойчивости аустенита.

Механизм превращения представлен на рисунке 4.6.

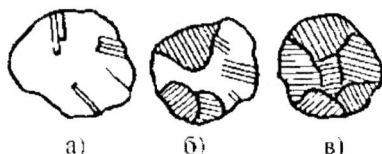


Рисунок 4.6 – Механизм превращения аустенита в перлит

При образовании перлита из аустенита ведущей фазой является цементит. Зарождение центров кристаллизации цементита облегчено на границе аустенитных зерен. Образовавшаяся пластинка цементита растет, удлиняется и обедняет соседние области углеродом. Рядом с ней образуются пластинки феррита. Эти пластинки растут как по толщине, так и по длине. Рост образовавшихся колоний перлита продолжается до столкновения с кристаллами перлита, растущими из других центров.

Свойства и строение продуктов превращения аустенита зависят от температуры, при которой происходит процесс его распада.

Толщина соседних пластинок феррита и цементита определяет дисперсность структуры и обозначается Δ_0 . Она зависит от температуры превращения. В зависимости от дисперсности продукты распада имеют различное название.

$$\Delta_0 = (0,5 \dots 0,7) \cdot 10^{-3} \text{ мм} - \text{перлит}$$

Образуется при переохлаждении до температуры $T = 650 \dots 700$ °С. Твердость составляет 180...250 НВ.

$$\Delta_0 = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ мм} - \text{сорбит}$$

Образуется при переохлаждении до температуры $T = 600...650$ °С. Твердость составляет 250...350 НВ. Структура характеризуется высоким пределом упругости, достаточной вязкостью и прочностью.

$$\Delta_0 = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ мм} - \text{троостит}$$

Образуется при переохлаждении до температуры $T = 550...600$ °С. Твердость составляет 350...450 НВ. Структура характеризуется высоким пределом упругости, малой вязкостью и пластичностью.

Твердость ферритно-цементитной смеси прямо пропорциональна площади поверхности раздела между ферритом и цементитом.

4.3.4 Промежуточное превращение

При температуре ниже 550 °С самодиффузия атомов железа практически не происходит, а атомы углерода обладают достаточной подвижностью.

Механизм превращения состоит в том, что внутри аустенита происходит перераспределение атомов углерода и участки аустенита, обогащенные углеродом превращаются в цементит.

Превращение обедненного углеродом аустенита в феррит происходит по сдвиговому механизму, путем возникновения и роста зародышей феррита. Образующиеся при этом кристаллы имеют игольчатую форму.

Такая структура, состоящая из цементита и феррита, называется бейнитом. Особенностью является повышенное содержание углерода в феррите (0.1...0.2 %).

Дисперсность кристаллов феррита и цементита зависят от температуры превращения.

При температуре 500 °С $-\Delta_0 = 0,12 \cdot 10^{-3}$ мм – верхний бейнит. Структура характеризуется недостаточной прочностью, при низких относительном удлинении (δ) и ударной вязкости (a_k).

При температуре 300 °С $-\Delta_0 = 0,08 \cdot 10^{-3}$ – нижний бейнит. Структура характеризуется высокой прочностью в сочетании с пластичностью и вязкостью.

Мартенсит – пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в Fe_α .

Превращение мартенсита в перлит имеет место при нагреве закаленных сталей. Превращение связано с диффузией углерода.

Мартенсит закалки - неравновесная структура, сохраняющаяся при низких температурах. Для получения равновесной структуры изделия подвергают отпуску.

При нагреве закаленной стали происходят следующие процессы.

При нагреве до $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ происходит перераспределение углерода в мартенсите. Образуются пластинки карбидов толщиной несколько атомных диаметров. На образование карбидов углерод расходуется только из участков мартенсита, окружающих кристаллы выделившихся карбидов. Концентрация углерода на этих участках резко падает, тогда как удаленные участки сохраняют концентрацию углерода. В стали присутствуют карбиды и два α -твердых раствора мартенсита (с высокой и низкой концентрацией углерода. Такой тип распада мартенсита называется прерывистым. Скорость диффузии мала, карбиды не увеличиваются, распад мартенсита сопровождается зарождением новых карбидных частиц. Таким образом, имеем структуру с неравномерным распределением углерода – это мартенсит отпуска. При этом несколько снижается тетрагональность решетки.

При нагреве до $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ идет рост образовавшихся карбидов. Карбиды выделяются из мартенсита и он обедняется углеродом. Диффузия углерода увеличивается и карбиды растут в результате притока углерода из областей твердого раствора с высокой его концентрацией. Кристаллическая решетка карбидов когерентно связана с решеткой мартенсита.

В высокоуглеродистых сталях аустенит остаточный превращается в мартенсит отпуска. Наблюдается снижение тетрагональности решетки и внутренних напряжений. Структура – мартенсит отпуска:

При нагреве до $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ весь избыточный углерод выделяется из Fe_{α} . Карбидные частицы полностью обособляются, приобретают строение цементита, и начинают расти. Форма карбидных частиц приближается к сферической.

Высокодисперсная смесь феррита и цементита называется троостит отпуска. При температуре $650\text{...}700\text{ }^{\circ}\text{C}$ получают более грубую ферритно-цементитную смесь – перлит отпуска (зернистый перлит).

При нагреве выше $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ изменение фазового состава не происходит, изменяется только микроструктура. Имеет место рост и сфероидизация цементита. Наблюдается растворение мелких и рост крупных карбидных частиц.

При температуре $550\text{...}600\text{ }^{\circ}\text{C}$ имеем сорбит отпуска. Карбиды имеют зернистое строение. Улучшаются свойства стали.

Технологические возможности и особенности отжига, нормализации, закалки и отпуска.

При разработке технологии необходимо установить:

- режим нагрева деталей (температуру и время нагрева);

- характер среды, где осуществляется нагрев и ее влияние на материал стали;

- условия охлаждения.

Режимы термической обработки назначают в соответствии с диаграммами состояния и диаграммой изотермического распада аустенита.

Нагрев может осуществляться в нагревательных печах, топливных или электрических, в соляных ваннах или в ваннах с расплавленным металлом, пропусканием через изделие электрического тока или в результате индукционного нагрева.

С точки зрения производительности, нагрев с максимальной скоростью уменьшает окалинообразование, обезуглероживание и рост аустенитного зерна. Однако необходимо учитывать перепад температур по сечению, что ведет к возникновению термических напряжений. Если растягивающие напряжения превысят предел прочности или предел текучести, то возможно коробление или образование трещин.

Скорость нагрева тем выше, чем менее легирована сталь, однороднее ее структура, проще конфигурация.

Окисление с образованием окалины Fe_2O_3 , препятствует получению высокой и равномерной твердости при закалке, приводит к изменению размеров, требует увеличения припусков на механическую обработку.

Обезуглероживание (выгорание углерода в поверхностном слое металла) способствует появлению мягких пятен при закалке и возникновению растягивающих напряжений в поверхностном слое, снижающих усталостную прочность.

4.4 Отжиг и нормализация. Назначение и режимы

Отжиг, снижая твердость и повышая пластичность и вязкость за счет получения равновесной мелкозернистой структуры, позволяет:

- улучшить обрабатываемость заготовок давлением и резанием;
- исправить структуру сварных швов, перегретой при обработке давлением и литые стали;
- подготовить структуру к последующей термической обработке.

4.4.1 Отжиг первого рода

1) Диффузионный (гомогенизирующий) отжиг. Применяется для устранения ликвации, выравнивания химического состава сплава.

В его основе – диффузия. В результате нагрева выравнивается состав, растворяются избыточные карбиды. Применяется, в основном, для легированных сталей.

Температура нагрева зависит от температуры плавления, $T_H = 0,8 T_{пл}$. Продолжительность выдержки: $\tau = 8 \dots 20$ часов.

2) Рекристаллизационный отжиг проводится для снятия напряжений после холодной пластической деформации.

Температура нагрева связана с температурой плавления: $T_H = 0,4 T_{пл}$. Продолжительность зависит от габаритов изделия.

3) Отжиг для снятия напряжений после горячей обработки (литья, сварки, обработки резанием, когда требуется высокая точность размеров). Температура нагрева выбирается в зависимости от назначения, находится в широком диапазоне: $T_H = 160 \dots 700$ °C. Продолжительность зависит от габаритов изделия.

Отжиг второго рода предназначен для изменения фазового состава.

Температура нагрева и время выдержки обеспечивают нужные структурные превращения. Скорость охлаждения должна быть такой, чтобы успели произойти обратные диффузионные фазовые превращения.

Является подготовительной операцией, которой подвергают отливки, поковки, прокат. Отжиг снижает твердость и прочность, улучшает обрабатываемость резанием средне и высокоуглеродистых сталей. Измельчая зерно, снижая внутренние напряжения и уменьшая структурную неоднородность способствует повышению пластичности и вязкости.

В зависимости от температуры нагрева различают отжиг:

1) полный, с температурой нагрева на $30 \dots 50$ °C выше критической температуры A_3

$$T_H = A_3 + (30 \dots 50)^\circ C$$

Проводится для доэвтектоидных сталей для исправления структуры.

При такой температуре нагрева аустенит получается мелкозернистый, и после охлаждения сталь имеет также мелкозернистую структуру.

2) неполный, с температурой нагрева на $30 \dots 50$ °C выше критической температуры A_1

$$T_H = A_1 + (30 \dots 50)^\circ C$$

Применяется для заэвтектоидных сталей. При таком нагреве в структуре сохраняется цементит вторичный, в результате отжига

цементит приобретает сферическую форму (сфероидизация). Получению зернистого цементита способствует предшествующая отжигу горячая пластическая деформация, при которой дробится цементитная сетка. Структура с зернистым цементитом лучше обрабатывается и имеет лучшую структуру после закалки. Неполный отжиг является обязательным для инструментальных сталей.

Иногда неполный отжиг применяют для доэвтектоидных сталей, если не требуется исправление структуры (сталь мелкозернистая), а необходимо только понизить твердость для улучшения обрабатываемости резанием.

3) циклический или маятниковый отжиг применяют, если после проведения неполного отжига цементит остается пластинчатым. В этом случае после нагрева выше температуры A_1 следует охлаждение до 680°C , затем снова нагрев до температуры $(750...760)^\circ\text{C}$ и охлаждение. В результате получают зернистый цементит.

4) изотермический отжиг – после нагрева до требуемой температуры, изделие быстро охлаждают до температуры на $50...100^\circ\text{C}$ ниже критической температуры A_1 и выдерживают до полного превращения аустенита в перлит, затем охлаждают на спокойном воздухе (рисунок 4.7). Температура изотермической выдержки близка к температуре минимальной устойчивости аустенита.

В результате получают более однородную структуру, так как превращение происходит при одинаковой степени переохлаждения. Значительно сокращается длительность процесса. Применяют для легированных сталей.

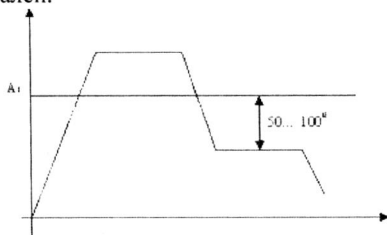


Рисунок 4.7 – Режимы изотермического отжига

5). Нормализация – разновидность отжига.

Термическая обработка, при которой изделие нагревают до аустенитного состояния, на $30...50^\circ\text{C}$ выше A_3 или A_{cm} с последующим охлаждением на воздухе.

$$T_H = A_3 + (30 \dots 50)^\circ C$$

или

$$T_H = A_{cm} + (30 \dots 50)^\circ C$$

В результате нормализации получают более тонкое строение эвтектоида (тонкий перлит или сорбит), уменьшаются внутренние напряжения, устраняются пороки, полученные в процессе предшествующей обработки. Твердость и прочность несколько выше чем после отжига.

В заэвтектоидных сталях нормализация устраняет грубую сетку вторичного цементита.

Нормализацию чаще применяют как промежуточную операцию, улучшающую структуру. Иногда проводят как окончательную обработку, например, при изготовлении сортового проката.

Для низкоуглеродистых сталей нормализацию применяют вместо отжига.

Для среднеуглеродистых сталей нормализацию или нормализацию с высоким отпуском применяют вместо закалки с высоким отпуском. В этом случае механические свойства несколько ниже, но изделие подвергается меньшей деформации, исключаются трещины.

4.5 Закалка

Конструкционные стали подвергают закалке и отпуску для повышения прочности и твердости, получения высокой пластичности, вязкости и высокой износостойкости, а инструментальные – для повышения твердости и износостойкости.

Верхний предел температур нагрева для заэвтектоидных сталей ограничивается, так как приводит к росту зерна, что снижает прочность и сопротивление хрупкому разрушению.

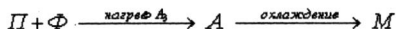
Основными параметрами являются температура нагрева и скорость охлаждения. Продолжительность нагрева зависит от нагревательного устройства, по опытным данным на 1 мм сечения затрачивается: в электрической печи – 1,5...2 мин.; в пламенной печи – 1 мин.; в соляной ванне – 0,5 мин.; в свинцовой ванне – 0,1...0,15 мин.

По температуре нагрева различают виды закалки:

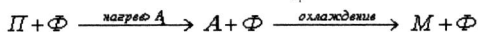
- полная, с температурой нагрева на 30...50⁰С выше критической температуры A_3

$$T_{II} = A_3 + (30 \dots 50)^\circ C$$

Применяют ее для доэвтектоидных сталей. Изменения структуры стали при нагреве и охлаждении происходят по схеме:



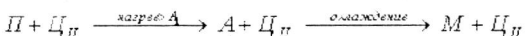
Неполная закалка доэвтектоидных сталей недопустима, так как в структуре остается мягкий феррит. Изменения структуры стали при нагреве и охлаждении происходят по схеме:



– неполная с температурой нагрева на $30 \dots 50^\circ C$ выше критической температуры A_1

$$T_{II} = A_1 + (30 \dots 50)^\circ C$$

Применяется для заэвтектоидных сталей. Изменения структуры стали при нагреве и охлаждении происходят по схеме:



После охлаждения в структуре остается вторичный цементит, который повышает твердость и износостойкость режущего инструмента.

После полной закалки заэвтектоидных сталей получают дефектную структуру грубоиглочатого мартенсита.

Заэвтектоидные стали перед закалкой обязательно подвергают отжигу – сфероидизации, чтобы цементит имел зернистую форму.

Охлаждение при закалке.

Для получения требуемой структуры изделия охлаждают с различной скоростью, которая в большой степени определяется охлаждающей средой, формой изделия и теплопроводностью стали.

Режим охлаждения должен исключить возникновение больших закалочных напряжений. При высоких скоростях охлаждения при закалке возникают внутренние напряжения, которые могут привести к короблению и растрескиванию.

Внутренние напряжения, уравниваемые в пределах макроскопических частей тела, называются напряжениями I рода. Они

ответственны за искажение формы (коробление) и образование трещин при термообработке. Причинами возникновения напряжений являются:

- различие температуры по сечению изделия при охлаждении;
- разновременное протекание фазовых превращений в разных участках изделия.

Для предупреждения образования трещин необходимо избегать растягивающих напряжений в поверхностных слоях изделия. На характер распределения напряжений при закалке, помимо режима охлаждения, оказывает влияние и температура нагрева под закалку. Перегрев содействует образованию закалочных трещин, увеличивает деформации.

Режим охлаждения должен также обеспечить необходимую глубину закаленного слоя.

Оптимальный режим охлаждения: максимальная скорость охлаждения в интервале температур $A_1 - M_H$, для предотвращения распада переохлажденного аустенита в области перлитного превращения, и минимальная скорость охлаждения в интервале температур мартенситного превращения $M_H - M_K$, с целью снижения остаточных напряжений и возможности образования трещин. Очень медленное охлаждение может привести к частичному отпуску мартенсита и увеличению количества аустенита остаточного, а следовательно к снижению твердости.

В качестве охлаждающих сред при закалке используют воду при различных температурах, технические масла, растворы солей и щелочей, расплавленные металлы.

Вода имеет существенный недостаток: высокая скорость охлаждения в интервале мартенситного превращения приводит к образованию закалочных дефектов. С повышением температуры воды ухудшается ее закалочная способность.

Наиболее высокой и равномерной охлаждающей способностью отличаются холодные 8...12 % - ные водные растворы NaCl и NaOH. Увеличения охлаждающей способности достигают при использовании струйного или душевого охлаждения, например, при поверхностной закалке.

Для легированных сталей с высокой устойчивостью аустенита используют минеральное масло (нефтяное). Обеспечивающее небольшую скорость охлаждения в интервале температур мартенситного превращения и постоянство закалывающей способности. Недостатками минеральных масел являются

повышенная воспламеняемость, низкая охлаждающая способность в интервале температур перлитного превращения, высокая стоимость.

При выборе охлаждающей среды необходимо учитывать закаливаемость и прокаливаемость стали.

Закаливаемость – способность стали приобретать высокую твердость при закалке.

Закаливаемость определяется содержанием углерода. Стали с содержанием углерода менее 0,20 % не закаливаются.

Прокаливаемость – способность получать закаленный слой с мартенситной и тростито-мартенситной структурой, обладающей высокой твердостью, на определенную глубину.

За глубину закаленной зоны принимают расстояние от поверхности до середины слоя, где в структуре одинаковые объемы мартенсита и троостита.

Чем меньше критическая скорость закалки, тем выше прокаливаемость. Укрупнение зерен повышает прокаливаемость.

Если скорость охлаждения в сердцевине изделия превышает критическую, то сталь имеет сквозную прокаливаемость.

Нерастворимые частицы и неоднородность аустенита уменьшают прокаливаемость.

Характеристикой прокаливаемости является критический диаметр.

Критический диаметр – максимальное сечение, прокаливающееся в данном охладителе на глубину, равную радиусу изделия.

С введением в сталь легирующих элементов закаливаемость и прокаливаемость увеличиваются (особенно молибден и бор, кобальт – наоборот).

4.5.1 Способы закалки

В зависимости от формы изделия, марки стали и нужного комплекса свойств применяют различные способы охлаждения (рисунок 4.8)

1) Закалка в одном охладителе (V_1).

Нагретую до нужной температуры деталь переносят в охладитель и полностью охлаждают. В качестве охлаждающей среды используют:

- воду – для крупных изделий из углеродистых сталей;

- масло – для небольших деталей простой формы из углеродистых сталей и изделий из легированных сталей.

Основной недостаток – значительные закалочные напряжения.

2) Закалка в двух сферах или прерывистая (V_2).

Нагретое изделие предварительно охлаждают в более резком охладителе (вода) до температуры $\sim 300^{\circ}\text{C}$ и затем переносят в более мягкий охладитель (масло).

Прерывистая закалка обеспечивает максимальное приближение к оптимальному режиму охлаждения.

Применяется в основном для закалки инструментов.

Недостаток: сложность определения момента переноса изделия из одной среды в другую.

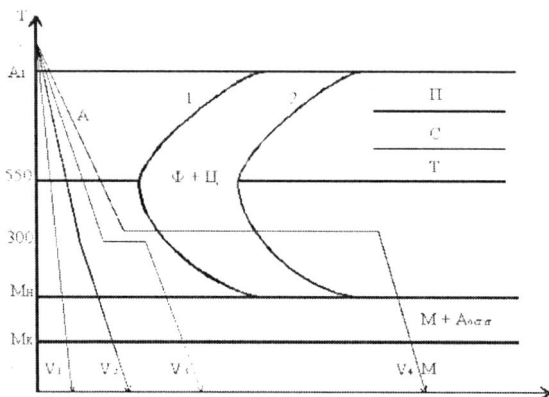


Рисунок 4.8 – Режимы закалки

3) Ступенчатая закалка (V_3).

Нагретое до требуемой температуры изделие помещают в охлаждающую среду, температура которой на $30 - 50^{\circ}\text{C}$ выше точки M_H и выдерживают в течении времени, необходимого для выравнивания температуры по всему сечению. Время изотермической выдержки не превышает периода устойчивости аустенита при заданной температуре.

В качестве охлаждающей среды используют расплавленные соли или металлы. После изотермической выдержки деталь охлаждают с невысокой скоростью.

Способ используется для мелких и средних изделий.

4) Изотермическая закалка (V_4).

Отличается от ступенчатой закалки продолжительностью выдержки при температуре выше M_H , в области промежуточного превращения. Изотермическая выдержка обеспечивает полное превращение переохлажденного аустенита в бейнит. При

промежуточном превращении легированных сталей кроме бейнита в структуре сохраняется аустенит остаточный. Образовавшаяся структура характеризуется сочетанием высокой прочности, пластичности и вязкости. Вместе с этим снижается деформация из-за закалочных напряжений, уменьшаются и фазовые напряжения.

В качестве охлаждающей среды используют расплавленные соли и щелочи.

Применяются для легированных сталей.

5) Закалка с самоотпуском.

Нагретые изделия помещают в охлаждающую среду и выдерживают до неполного охлаждения. После извлечения изделия, его поверхностные слои повторно нагреваются за счет внутренней теплоты до требуемой температуры, то есть осуществляется самоотпуск. Применяется для изделий, которые должны сочетать высокую твердость на поверхности и высокую вязкость в сердцевине (инструменты ударного действия: молотки, зубила).

4.6 Отпуск

Отпуск является окончательной термической обработкой.

Целью отпуска является повышение вязкости и пластичности, снижение твердости и уменьшение внутренних напряжений закаленных сталей.

С повышением температуры нагрева прочность обычно снижается, а пластичность и вязкость растут. Температуру отпуска выбирают, исходя из требуемой прочности конкретной детали.

Различают три вида отпуска:

1) Низкий отпуск с температурой нагрева $T_n = 150...300$ °С.

В результате его проведения частично снимаются закалочные напряжения. Получают структуру – мартенсит отпуска.

Проводят для инструментальных сталей; после закалки токами высокой частоты; после цементации.

2) Средний отпуск с температурой нагрева $T_n = 300...450$ °С.

Получают структуру – троостит отпуска, сочетающую высокую твердость 40...45 HRC с хорошей упругостью и вязкостью.

Используется для изделий типа пружин, рессор.

3). Высокий отпуск с температурой нагрева $T_n = 450...650$ °С.

Получают структуру, сочетающую достаточно высокую твердость и повышенную ударную вязкость (оптимальное сочетание свойств) – сорбит отпуска.

Используется для деталей машин, испытывающих ударные нагрузки.

Комплекс термической обработки, включающий закалку и высокий отпуск, называется улучшением.

4.6.1 Отпускная хрупкость

Обычно с повышением температуры отпуска ударная вязкость увеличивается, а скорость охлаждения не влияет на свойства. Но для некоторых сталей наблюдается снижение ударной вязкости. Этот дефект называется отпускной хрупкостью.

Отпускная хрупкость I рода наблюдается, при отпуске в области температур около 300 °С. Она не зависит от скорости охлаждения.

Это явление связано с неравномерностью превращения опущенного мартенсита. Процесс протекает быстрее вблизи границ зерен по сравнению с объемами внутри зерна. У границ наблюдается концентрация напряжений, поэтому границы хрупкие.

Отпускная хрупкость I рода “необратима“, то есть при повторных нагревах тех же деталей не наблюдается.

Отпускная хрупкость II рода наблюдается у легированных сталей при медленном охлаждении после отпуска в области 450...650 °С.

При высоком отпуске по границам зерен происходит образование и выделение дисперсных включений карбидов. Приграничная зона обедняется легирующими элементами. При последующем медленном охлаждении происходит диффузия фосфора к границам зерна. Приграничные зоны обогащаются фосфором, снижаются прочность и ударная вязкость. Этому дефекту способствуют хром, марганец и фосфор. Уменьшают склонность к отпускной хрупкости II рода молибден и вольфрам, а также быстрое охлаждение после отпуска.

Отпускная хрупкость II рода “обратима“, то есть при повторных нагревах и медленном охлаждении тех же сталей в опасном интервале температур дефект может повториться.

Стали, склонные к отпускной хрупкости II рода, нельзя использовать для работы с нагревом до 650 °С без последующего быстрого охлаждения.

4.7 Химико-термическая обработка стали

Химико-термическая обработка (ХТО) – процесс изменения химического состава, микроструктуры и свойств поверхностного слоя детали.

Изменение химического состава поверхностных слоев достигается в результате их взаимодействия с окружающей средой (твердой, жидкой, газообразной, плазменной), в которой осуществляется нагрев.

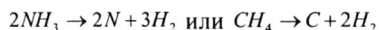
В результате изменения химического состава поверхностного слоя изменяются его фазовый состав и микроструктура,

Основными параметрами химико-термической обработки являются температура нагрева и продолжительность выдержки.

В основе любой разновидности химико-термической обработки лежат процессы диссоциации, адсорбции, диффузии.

Диссоциация – получение насыщающего элемента в активированном атомарном состоянии в результате химических реакций, а также испарения.

Например:



Адсорбция – захват поверхностью детали атомов насыщающего элемента.

Адсорбция – всегда экзотермический процесс, приводящий к уменьшению свободной энергии.

Диффузия – перемещение адсорбированных атомов вглубь изделия.

Для осуществления процессов адсорбции и диффузии необходимо, чтобы насыщающий элемент взаимодействовал с основным металлом, образуя твердые растворы или химические соединения.

Химико-термическая обработка является основным способом поверхностного упрочнения деталей.

Основными разновидностями химико-термической обработки являются:

- цементация (насыщение поверхностного слоя углеродом);
- азотирование (насыщение поверхностного слоя азотом);
- нитроцементация или цианирование (насыщение поверхностного слоя одновременно углеродом и азотом);
- диффузионная металлизация (насыщение поверхностного слоя различными металлами).

Цементация – химико-термическая обработка, заключающаяся в диффузионном насыщении поверхностного слоя атомами углерода при нагреве до температуры 900...950 °С.

Цементации подвергают стали с низким содержанием углерода (до 0,25 %).

Нагрев изделий осуществляют в среде, легко отдающей углерод. Подобрав режимы обработки, поверхностный слой насыщают углеродом до требуемой глубины.

Глубина цементации (h) – расстояние от поверхности изделия до середины зоны, где в структуре имеются одинаковые объемы феррита и перлита ($h = 1 \dots 2$ мм).

Степень цементации – среднее содержание углерода в поверхностном слое (обычно, не более 1,2 %).

Более высокое содержание углерода приводит к образованию значительных количеств цементита вторичного, сообщающего слою повышенную хрупкость.

На практике применяют цементацию в твердом и газовом карбюризаторе (науглероживающей среде).

Участки деталей, которые не подвергаются цементации, предварительно покрываются медью (электролитическим способом) или глиняной смесью.

4.7.1 Цементация в твердом карбюризаторе

Почти готовые изделия, с припуском под шлифование, укладывают в металлические ящики и пересыпают твердым карбюризатором. Используется древесный уголь с добавками углекислых солей BaCO_3 , Na_2CO_3 в количестве 10...40 %. Закрытые ящики укладывают в печь и выдерживают при температуре 930...950 °С.

За счет кислорода воздуха происходит неполное сгорание угля с образованием окиси углерода (CO), которая разлагается с образованием атомарного углерода по реакции:



Образующиеся атомы углерода адсорбируются поверхностью изделий и диффундируют вглубь металла.

Недостатками данного способа являются:

- значительные затраты времени (для цементации на глубину 0,1 мм затрачивается 1 час);
- низкая производительность процесса;
- громоздкое оборудование;
- сложность автоматизации процесса.

Способ применяется в мелкосерийном производстве.

4.7.2 Газовая цементация

Процесс осуществляется в печах с герметической камерой, наполненной газовым карбюризатором.

Атмосфера углеродосодержащих газов включает азот, водород, водяные пары, которые образуют газ-носитель, а также окись

углерода, метан и другие углеводороды, которые являются активными газами.

Глубина цементации определяется температурой нагрева и временем выдержки.

Преимущества способа:

- возможность получения заданной концентрации углерода в слое (можно регулировать содержание углерода, изменяя соотношение составляющих атмосферу газов);

- сокращение длительности процесса за счет упрощения последующей термической обработки;

- возможность полной механизации и автоматизации процесса.

Способ применяется в серийном и массовом производстве.

4.7.3 Структура цементованного слоя

Структура цементованного слоя представлена на рисунке 4.9.

На поверхности изделия образуется слой заэвтектоидной стали, состоящий из перлита и цементита. По мере удаления от поверхности, содержание углерода снижается и следующая зона состоит только из перлита. Затем появляются зерна феррита, их количество, по мере удаления от поверхности увеличивается. И, наконец, структура становится отвечающей исходному составу.

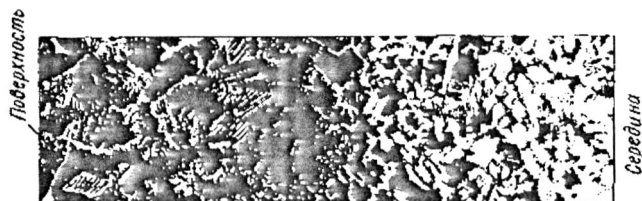


Рисунок 4.9 – Структура цементованного слоя

4.7.4 Термическая обработка после цементации

В результате цементации достигается только выгодное распределение углерода по сечению. Окончательно формирует свойства цементованной детали последующая термообработка. Все изделия подвергают закалке с низким отпуском. После закалки цементованное изделие приобретает высокую твердость и износостойкость, повышается предел контактной выносливости и предел выносливости при изгибе, при сохранении вязкой сердцевины.

Комплексе термической обработки зависит от материала и назначения изделия.

Графики различных комплексов термической обработки представлены на рисунке 4.10.

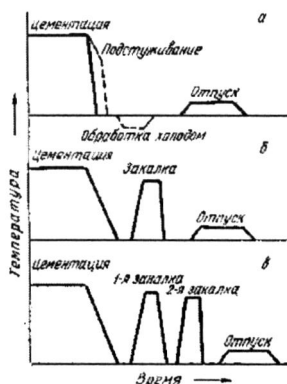


Рисунок 4.10 – Режимы термической обработки цементованных изделий

Если сталь наследственно мелкозернистая или изделия неотвественного назначения, то проводят однократную закалку с температуры 820...850 °С (рисунок 4.10, б). При этом обеспечивается получение высокоуглеродистого мартенсита в цементованном слое, а также частичная перекристаллизация и измельчение зерна сердцевины.

При газовой цементации изделия по окончании процесса подстуживают до этих температур, а затем проводят закалку (не требуется повторный нагрев под закалку) (рисунок 4.10, а).

Для удовлетворения особо высоких требований, предъявляемых к механическим свойствам цементованных деталей, применяют двойную закалку (рисунок 4.10, в).

Первая закалка (или нормализация) проводится с температуры 880...900 °С для исправления структуры сердцевины.

Вторая закалка проводится с температуры 760...780 °С для получения мелкоигльчатого мартенсита в поверхностном слое.

Завершающей операцией термической обработки всегда является низкий отпуск, проводимый при температуре 150...180 °С. В результате отпуска в поверхностном слое получают структуру мартенсита отпуска, частично снимаются напряжения.

Цементации подвергают зубчатые колеса, поршневые кольца, червяки, оси, ролики.

4.8 Азотирование

Азотирование – химико-термическая обработка, при которой поверхностные слои насыщаются азотом.

При азотировании увеличиваются не только твердость и износостойкость, но также повышается коррозионная стойкость.

При азотировании изделия загружают в герметичные печи, куда поступает аммиак NH_3 с определенной скоростью.

Для азотирования используют стали, содержащие алюминий, молибден, хром, титан.

Типовые азотируемые стали: 38ХМЮА, 35ХМЮА, 30ХТ2Н3Ю.

Глубина и поверхностная твердость азотированного слоя зависят от ряда факторов, из которых основные: температура азотирования, продолжительность азотирования и состав азотируемой стали.

В зависимости от условий работы деталей различают азотирование:

- для повышения поверхностной твердости и износостойкости;
- для улучшения коррозионной стойкости (антикоррозионное азотирование).

В первом случае процесс проводят при температуре 500...560 °С в течение 24...90 часов, так как скорость азотирования составляет 0,01 мм/ч. Содержание азота в поверхностном слое составляет 10...12 %, толщина слоя (h) – 0,3...0,6 мм. На поверхности получают твердость около 1000 HV. Охлаждение проводят вместе с печью в потоке аммиака.

Значительное сокращение времени азотирования достигается при ионном азотировании, когда между катодом (деталью) и анодом (контейнерной установкой) возбуждается тлеющий разряд. Происходит ионизация азотосодержащего газа, и ионы бомбардируя поверхность катода, нагревают его до температуры насыщения. Катодное распыление осуществляется в течение 5...60 мин при напряжении 1100...1400 В и давлении 0,1...0,2 мм рт. ст., продолжительность процесса до 24 часов.

Антикоррозионное азотирование проводят для легированных, и для углеродистых сталей. Температура проведения азотирования – 650...700 °С, продолжительность процесса – 10 часов.

Азотирование проводят на готовых изделиях, прошедших окончательную механическую и термическую обработку (закалка с высоким отпускком).

После азотирования в сердцевине изделия сохраняется структура сорбита, которая обеспечивает повышенную прочность и вязкость.

4.9 Цианирование и нитроцементация

Цианирование – химико-термическая обработка, при которой поверхность насыщается одновременно углеродом и азотом.

Осуществляется в ваннах с расплавленными цианистыми солями, например NaCN с добавками солей NaCl, BaCl и др.

Глубина слоя и концентрация в нем углерода и азота зависят от температуры процесса и его продолжительности.

Цианированный слой обладает высокой твердостью 58...62 HRC и хорошо сопротивляется износу. Повышаются усталостная прочность и коррозионная стойкость.

Продолжительности процесса 0,5...2 часа.

Высокотемпературное цианирование – проводится при температуре 800...950 °С, сопровождается преимущественным насыщением стали углеродом до 0,6...1,2 %, (жидкостная цементация). Содержание азота в цианированном слое 0,2...0,6 %, толщина слоя 0,15...2 мм. После цианирования изделия подвергаются закалке и низкому отпуску. По сравнению с цементацией высокотемпературное цианирование происходит с большей скоростью, приводит к меньшей деформации деталей, обеспечивает большую твердость и сопротивление износу.

Низкотемпературное цианирование – проводится при температуре 540...600 °С, сопровождается преимущественным насыщением стали азотом.

Проводится для инструментов из быстрорежущих, высокохромистых сталей, является окончательной обработкой.

Основным недостатком цианирования является ядовитость цианистых солей.

Нитроцементация – газовое цианирование, осуществляется в газовых смесях из цементующего газа и диссоциированного аммиака.

Состав газа температура процесса определяют соотношение углерода и азота в цианированном слое. Глубина слоя зависит от температуры и продолжительности выдержки.

Высокотемпературная нитроцементация проводится при температуре 830...950 °С, для машиностроительных деталей из углеродистых и малолегированных сталей при повышенном содержании аммиака. Завершающей термической обработкой является закалка с низким отпуском. Твердость достигает 56...62 HRC.

Низкотемпературной нитроцементации подвергают инструмент из быстрорежущей стали после термической обработки (заковки и отпуска). Процесс проводят при температуре 530...570 °С, в течение 1,5...3 часов. Образуется поверхностный слой толщиной 0,02...0,004 мм с твердостью 900...1200 HV.

Нитроцементация характеризуется безопасностью в работе, низкой стоимостью.

4.10 Диффузионная металлизация

Диффузионная металлизация – химико-термическая обработка, при которой поверхность стальных изделий насыщается различными элементами: алюминием, хромом, кремнием, бором и др.

При насыщении хромом процесс называют хромированием, алюминием – алитированием, кремнием – силицированием, бором – борированием.

Диффузионную металлизацию можно проводить в твердых, жидких и газообразных средах.

При твердой диффузионной металлизации металлизатором является ферросплав с добавлением хлористого аммония (NH_4Cl). В результате реакции металлизатора с HCl или Cl_2 образуется соединение хлора с металлом (AlCl_3 , CrCl_2 , SiCl_4), которые при контакте с поверхностью диссоциируют с образованием свободных атомов.

Жидкая диффузионная металлизация проводится погружением детали в расплавленный металл (например, алюминий).

Газовая диффузионная металлизация проводится в газовых средах, являющихся хлоридами различных металлов.

Диффузия металлов протекает очень медленно, так как образуются растворы замещения, поэтому при одинаковых температурах диффузионные слои в десятки и сотни раз тоньше, чем при цементации.

Диффузионная металлизация – процесс дорогостоящий, осуществляется при высоких температурах (1000...1200 °С) в течение длительного времени.

Одним из основных свойств металлизированных поверхностей является жаростойкость, поэтому жаростойкие детали для рабочих температур 1000...1200 °С изготавливают из простых углеродистых сталей с последующим алитированием, хромированием или силицированием.

4.11 Методы упрочнения металла. Термомеханическая обработка стали

Одним из технологических процессов упрочняющей обработки является термомеханическая обработка (ТМО).

Термомеханическая обработка относится к комбинированным способам изменения строения и свойств материалов.

При термомеханической обработке совмещаются пластическая деформация и термическая обработка (закалка предварительно деформированной стали в аустенитном состоянии).

Преимуществом термомеханической обработки является то, что при существенном увеличении прочности характеристики пластичности снижаются незначительно, а ударная вязкость выше в 1,5...2 раза по сравнению с ударной вязкостью для той же стали после закалки с низким отпуском.

В зависимости от температуры, при которой проводят деформацию, различают высокотемпературную термомеханическую обработку (ВТМО) и низкотемпературную термомеханическую обработку (НТМО).

Сущность высокотемпературной термомеханической обработки заключается в нагреве стали до температуры аустенитного состояния (выше A_3). При этой температуре осуществляют деформацию стали, что ведет к наклепу аустенита. Сталь с таким состоянием аустенита подвергают закалке (рисунок 4.11, а).

Высокотемпературная термомеханическая обработка практически устраняет развитие отпускной хрупкости в опасном интервале температур, ослабляет необратимую отпускную хрупкость и резко повышает ударную вязкость при комнатной температуре. Понижается температурный порог хладоломкости. Высокотемпературная термомеханическая обработка повышает сопротивление хрупкому разрушению, уменьшает чувствительность к трещинообразованию при термической обработке.

Высокотемпературную термомеханическую обработку эффективно использовать для углеродистых, легированных, конструкционных, пружинных и инструментальных сталей.

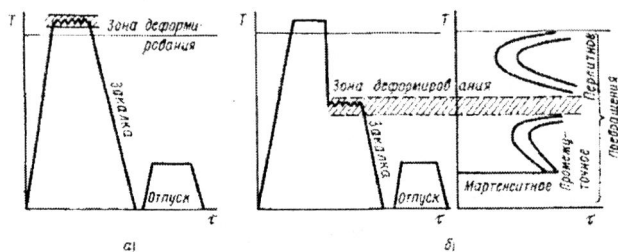
Последующий отпуск при температуре 100...200 °С проводится для сохранения высоких значений прочности.

Низкотемпературная термомеханическая обработка.

Сталь нагревают до аустенитного состояния. Затем выдерживают при высокой температуре, производят охлаждение до температуры, выше температуры начала мартенситного превращения (400...600 °С),

но ниже температуры рекристаллизации, и при этой температуре осуществляют обработку давлением и закалку (рисунок 4.11, б).

Низкотемпературная термомеханическая обработка, хотя и дает более высокое упрочнение, но не снижает склонности стали к отпускной хрупкости. Кроме того, она требует высоких степеней деформации (75...95 %), поэтому требуется мощное оборудование.



а – высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО);
б – низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО)

Рисунок 4.11 – Схема режимов термомеханической обработки стали

Низкотемпературную термомеханическую обработку применяют к среднеуглеродистым легированным сталям, закаливаемым на мартенсит, которые имеют вторичную стабильность аустенита.

Повышение прочности при термомеханической обработке объясняют тем, что в результате деформации аустенита происходит дробление его зерен (блоков). Размеры блоков уменьшаются в два – четыре раза по сравнению с обычной закалкой. Также увеличивается плотность дислокаций. При последующей закалке такого аустенита образуются более мелкие пластинки мартенсита, снижаются напряжения.

Термомеханическую обработку применяют и для других сплавов.

4.12 Поверхностное упрочнение стальных деталей

Конструкционная прочность часто зависит от состояния материала в поверхностных слоях детали. Одним из способов поверхностного упрочнения стальных деталей является поверхностная закалка.

В результате поверхностной закалки увеличивается твердость поверхностных слоев изделия с одновременным повышением сопротивления истиранию и предела выносливости.

Общим для всех видов поверхностной закалки является нагрев поверхностного слоя детали до температуры закалки с последующим быстрым охлаждением. Эти способы различаются методами нагрева деталей. Толщина закаленного слоя при поверхностной закалке определяется глубиной нагрева.

Наибольшее распространение имеют электротермическая закалка с нагревом изделий токами высокой частоты (ТВЧ) и газопламенная закалка с нагревом газовой-кислородным или кислородно-керосиновым пламенем.

4.13 Закалка токами высокой частоты

Метод основан на том, что если в переменное магнитное поле, создаваемое проводником-индуктором, поместить металлическую деталь, то в ней будут индуцироваться вихревые токи, вызывающие нагрев металла. Чем больше частота тока, тем тоньше получается закаленный слой. Глубина закаленного слоя – до 2 мм.

Схема технологического процесса закалки ТВЧ представлена на рисунке 4.12.

После нагрева в течение 3...5 с индуктора 2 деталь 1 быстро перемещается в специальное охлаждающее устройство – спрейер 3, через отверстия которого на нагретую поверхность разбрызгивается закалочная жидкость.

Высокая скорость нагрева смещает фазовые превращения в область более высоких температур. Температура закалки при нагреве токами высокой частоты должна быть выше, чем при обычном нагреве.

При правильных режимах нагрева после охлаждения получается структура мелкоигольчатого мартенсита. Твердость повышается на 2...4 HRC по сравнению с обычной закалкой, возрастает износостойкость и предел выносливости.

Перед закалкой ТВЧ изделие подвергают нормализации, а после закалки низкому отпуску при температуре 150...200 °С (самоотпуск).

Наиболее целесообразно использовать этот метод для изделий из сталей с содержанием углерода более 0,4 %.

Преимущества метода:

- большая экономичность, нет необходимости нагревать все изделие;
- более высокие механические свойства;

- отсутствие обезуглероживания и окисления поверхности детали;
- снижение брака по короблению и образованию закалочных трещин;
- возможность автоматизации процесса;
- использование закалки ТВЧ позволяет заменить легированные стали на более дешевые углеродистые;
- позволяет проводить закалку отдельных участков детали.

Основной недостаток метода – высокая стоимость индукционных установок и индукторов.

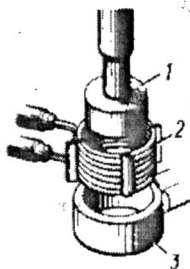


Рисунок 4.12 – Схема технологического процесса закалки ТВЧ

4.14 Газопламенная закалка

Нагрев осуществляется ацетиленокислородным, газокислородным или керосинокислородным пламенем с температурой 3000...3200 °С.

Структура поверхностного слоя после закалки состоит из мартенсита, мартенсита и феррита. Толщина закаленного слоя 2...4 мм, твердость 50...56 HRC.

Метод применяется для закалки крупных изделий, имеющих сложную поверхность (косозубые шестерни, червяки), для закалки стальных и чугунных прокатных валков. Используется в массовом и индивидуальном производстве, а также при ремонтных работах.

При нагреве крупных изделий горелки и охлаждающие устройства перемещаются вдоль изделия, или – наоборот.

Недостатки метода:

- невысокая производительность;
- сложность регулирования глубины закаленного слоя и температуры нагрева (возможность перегрева).

4.15 Старение

Отпуск применяется к сплавам, которые подвергнуты закалке с полиморфным превращением.

К материалам, подвергнутым закалке без полиморфного превращения, применяется старение.

Старение – термическая обработка, при которой главным процессом является распад пересыщенного твердого раствора.

В результате старения происходит изменение свойств закаленных сплавов.

В отличие от отпуска, после старения увеличиваются прочность и твердость, и уменьшается пластичность.

Старение сплавов связано с переменной растворимостью избыточной фазы, а упрочнение при старении происходит в результате дисперсионных выделений при распаде пересыщенного твердого раствора и возникающих при этом внутренних напряжений.

В стареющих сплавах выделения из твердых растворов встречаются в следующих основных формах:

- тонкопластинчатой (дискообразной);
- равноосной (сферической или кубической);
- игольчатой.

Форма выделений определяется конкурирующими факторами: поверхностной энергией и энергией упругой деформации, стремящимися к минимуму.

Основное назначение старения – повышение прочности и стабилизация свойств.

Различают старение естественное, искусственное и после пластической деформации.

Естественным старением называется самопроизвольное повышение прочности и уменьшение пластичности закаленного сплава, происходящее в процессе его выдержки при нормальной температуре.

Нагрев сплава увеличивает подвижность атомов, что ускоряет процесс. Повышение прочности в процессе выдержки при повышенных температурах называется искусственным старением.

Предел прочности, предел текучести и твердость сплава с увеличением продолжительности старения возрастают, достигают максимума и затем снижаются (явление перестаривания).

При естественном старении перестаривания не происходит. С повышением температуры стадия перестаривания достигается раньше.

Если закаленный сплав, имеющий структуру пересыщенного твердого раствора, подвергнуть пластической деформации, то также ускоряются процессы, протекающие при старении – это деформационное старение.

Старение охватывает все процессы, происходящие в пересыщенном твердом растворе: процессы, подготавливающие выделение, и сами процессы выделения.

Для практики большое значение имеет инкубационный период – время, в течение которого в закаленном сплаве совершаются подготовительные процессы, когда сохраняется высокая пластичность. Это позволяет проводить холодную деформацию после закалки. После старения повышается прочность и снижается пластичность низкоуглеродистых сталей. Старение является основным способом упрочнения алюминиевых и медных сплавов, а также многих жаропрочных сплавов.

4.16 Обработка стали холодом

Высокоуглеродистые и многие легированные стали имеют температуру конца мартенситного превращения (M_c) ниже 0 °С. Поэтому в структуре стали после закалки наблюдается значительное количество остаточного аустенита, который снижает твердость изделия, а также ухудшает магнитные характеристики. Для устранения аустенита остаточного проводят дополнительное охлаждение детали в области отрицательных температур, до температуры ниже $t. M_c$ (минус 80 °С). Обычно для этого используют сухой лед.

Такая обработка называется обработкой стали холодом.

Обработку холодом необходимо проводить сразу после закалки, чтобы не допустить стабилизации аустенита. Увеличение твердости после обработки холодом обычно составляет 1...4 HRC.

После обработки холодом сталь подвергают низкому отпуску, так как обработка холодом не снижает внутренних напряжений.

4.17 Упрочнение методом пластической деформации

Основное назначение методов механического упрочнения поверхности – повышение усталостной прочности.

Методы механического упрочнения – наклёпывание поверхностного слоя на глубину 0,2...0,4 мм.

Разновидностями являются дробеструйная обработка и обработка роликами.

Дробеструйная обработка – обработка дробью поверхности готовых деталей.

Осуществляется с помощью специальных дробеструйных установок, выбрасывающих стальную или чугунную дробь на поверхность обрабатываемых деталей. Диаметр дроби – 0,2...4 мм. При обработке роликами деформация осуществляется давлением ролика из твердого металла на поверхность обрабатываемого изделия.

При усилиях на ролик, превышающих предел текучести обрабатываемого материала, происходит наклеп на нужную глубину. Обработка улучшает микрогеометрию. Создание остаточных напряжений сжатия повышает предел усталости и долговечность изделия.

Обкатка роликами применяется при обработке шеек валов, проволоки, при калибровке труб, прутков.

Вопросы для самопроверки

1. Физические основы химико-термической обработки.
2. Назначение и виды цементации.
3. Нитроцементация стали.
4. Общая характеристика процесса термической обработки стали.
5. Отжиг стали. Виды отжига.
6. Закалка стали. Методы закалки.
7. Отпуск стали. Виды и назначения отпуска.
8. Улучшение стали.
9. Термомеханическая обработка стали.
10. Закалочные среды и требования, предъявляемые к ним.

Тестовые задания

1. Какие стали относятся к цементуемым?

- А) стали с содержанием углерода от 0,08 до 0,3 %;
- В) стали с содержанием углерода от 0,08 до 0,6 %;
- С) стали с содержанием углерода от 0,1 до 0,3 %;
- Д) стали с содержанием углерода от 0,8 до 1,3 %;
- Е) стали с содержанием углерода от 0,08 до 1 %;

2. Какие стали называются улучшаемыми?

- А) стали, подвергаемые закалке и высокому отпуску;
- В) стали, подвергаемые закалке;
- С) стали, подвергаемые закалке и низкому отпуску;

- D) стали, подвергаемые закалке и среднему отпуску;
- E) стали, подвергаемые рекристаллизационному отжигу.

3. Какой термической обработке подвергают быстрорежущие стали?

- A) закалка + трехкратный отпуск;
- B) закалка + отпуск;
- C) закалка + двукратный отпуск;
- D) закалка + низкий отпуск;
- E) закалка + средний отпуск.

4. Что такое закалка стали?

- A) вид термической обработки стали, после которой сталь приобретает неравновесную структуру мартенсита;
- B) вид термической обработки стали, после которой сталь приобретает равновесную структуру аустенита;
- C) вид термической обработки стали, после которой сталь приобретает равновесную структуру мартенсита;
- D) вид химико-термической обработки стали, после которой сталь приобретает неравновесную структуру мартенсита;
- E) вид химико-термической обработки стали, после которой сталь приобретает равновесную структуру мартенсита.

5. Что такое отпуск стали?

- A) вид термической обработки стали, осуществляемый после закалки с целью снятия внутренних напряжений, уменьшения твердости и увеличения пластичности стали;
- B) вид термической обработки стали, осуществляемый после отжига с целью увеличения твердости и увеличения пластичности стали;
- C) вид термической обработки стали, осуществляемый после закалки с целью уменьшения твердости и увеличения пластичности стали;
- D) вид термической обработки стали, осуществляемый после отжига с целью увеличения твердости и уменьшения пластичности стали;
- E) вид термической обработки стали, осуществляемый после отжига с целью уменьшения твердости и уменьшения пластичности стали.

5 Стали и сплавы с особыми свойствами

5.1 Углеродистые стали

Низкоуглеродистые стали 05 кп, 08, 10, 10 пс обладают малой прочностью высокой пластичностью. Применяются без термической обработки для изготовления малонагруженных деталей – шайб, прокладок и т.п.

Среднеуглеродистые стали 35, 40, 45 применяются после нормализации, термического улучшения, поверхностной закалки.

В нормализованном состоянии по сравнению с низкоотпущенным обладают большей прочностью, но меньшей пластичностью. После термического улучшения наблюдается наилучшее сочетание механических свойств. После поверхностной закалки обладают высокой поверхностной твердостью и сопротивлением износу.

Высокоуглеродистые стали 60, 65, 70,75 используются как рессорно-пружинные после среднего отпуска. В нормализованном состоянии – для прокатных валков, шпинделей станков.

Достоинства углеродистых качественных сталей – дешевизна и технологичность. Но из-за малой прокаливаемости эти стали не обеспечивают требуемый комплекс механических свойств в деталях сечением более 20 мм.

5.1.1 Цементуемые стали

Используются для изготовления деталей, работающих на износ и подвергающихся действию переменных и ударных нагрузок. Детали должны сочетать высокую поверхностную прочность и твердость и достаточную вязкость сердцевины.

Цементации подвергаются низкоуглеродистые стали с содержанием углерода до 0,25 %, что позволяет получить вязкую сердцевину. Для деталей, работающих с большими нагрузками, применяются стали с повышенным содержанием углерода (до 0,35 %).

С повышением содержания углерода прочность сердцевины увеличивается, а вязкость снижается. Детали подвергаются цианированию и нитроцементации.

Цементуемые углеродистые стали 15, 20, 25 используются для изготовления деталей небольшого размера, работающих в условиях изнашивания при малых нагрузках (втулки, валики, оси, шпильки и др.). Твердость на поверхности составляет 60...64 HRC, сердцевина остается мягкой.

Цементуемые легированные стали применяют для более крупных и тяжело нагруженных деталей, в которых необходимо иметь, кроме

высокой твердости поверхности, достаточно прочную сердцевину (кулачковые муфты, поршни, пальцы, втулки).

Хромистые стали 15X, 20X используются для изготовления небольших изделий простой формы, цементуемых на глубину $h = 1 \dots 1,5$ мм. При закалке с охлаждением в масле, выполняемой после цементации, сердцевина имеет бейнитное строение. Вследствие этого хромистые стали обладают более высокими прочностными свойствами при несколько меньшей пластичности в сердцевине и большей прочностью в цементованном слое.

Дополнительное легирование хромистых сталей ванадием (сталь 15XФ), способствует получению более мелкого зерна, что улучшает пластичность и вязкость.

Никель увеличивает глубину цементованного слоя, препятствует росту зерна и образованию грубой цементитной сетки, оказывает положительное влияние на свойства сердцевины. Хромоникелевые стали 20ХН, 12ХНЗА применяют для изготовления деталей средних и больших размеров, работающих на износ при больших нагрузках (зубчатые колеса, шлицевые валы). Одновременное легирование хромом и никелем, который растворяется в феррите, увеличивает прочность, пластичность и вязкость сердцевины и цементованного слоя. Стали мало чувствительны к перегреву. Большая устойчивость переохлажденного аустенита в области перлитного и промежуточного превращений обеспечивает высокую прокаливаемость хромоникелевых сталей и позволяет проводить закалку крупных деталей с охлаждением в масле и на воздухе.

Стали, дополнительно легированные вольфрамом или молибденом (18Х2Н4ВА, 18Х2Н4МА), применяют для изготовления крупных тяжело нагруженных деталей. Эти стали являются лучшими конструкционными сталями, но дефицитность никеля ограничивает их применение.

Хромомарганцевые стали применяют вместо дорогих хромоникелевых, однако эти стали менее устойчивы к перегреву и имеют меньшую вязкость. Введение небольшого количества титана (0,06...0,12 %) уменьшает склонность стали к перегреву (стали 18ХГТ, 30ХГТ).

С целью повышения прочности применяют легирование бором (0,001...0,005 %) 20ХГР, но бор способствует росту зерна при нагреве.

5.1.2 Улучшаемые стали

Стали, подвергаемые термическому улучшению, широко применяют для изготовления различных деталей, работающих в сложных напряженных условиях (при действии разнообразных

нагрузок, в том числе переменных и динамических). Стали приобретают структуру сорбита, хорошо воспринимающую ударные нагрузки. Важное значение имеет сопротивление хрупкому разрушению.

Улучшению подвергаются среднеуглеродистые стали с содержанием углерода 0,30...0,50 %.

Улучшаемые углеродистые стали 35, 40, 45 дешевы, из них изготавливают детали, испытывающие небольшие напряжения (сталь 35), и детали, требующие повышенной прочности (стали 40, 45). Но термическое улучшение этих сталей обеспечивает высокий комплекс механических свойств только в деталях небольшого сечения, так как стали обладают низкой прокаливаемостью. Стали этой группы можно использовать и в нормализованном состоянии.

Детали, требующие высокой поверхностной твердости при вязкой сердцевине (зубчатые колеса, валы, оси, втулки), подвергаются поверхностной закалке токами высокой частоты. Для снятия напряжений проводят низкий отпуск.

5.1.3 Улучшаемые легированные стали

Улучшаемые легированные стали применяют для более крупных и более нагруженных ответственных деталей. Стали обладают лучшим комплексом механических свойств: выше прочность при сохранении достаточной вязкости и пластичности, ниже порог хладоломкости.

Хромистые стали 30Х, 40Х, 50Х используются для изготовления небольших средненагруженных деталей. Эти стали склонны к отпускной хрупкости, поэтому после высокого отпуска охлаждение должно быть быстрым.

Повышение прокаливаемости достигается микролегированием бором (35ХР). Введение в сталь ванадия значительно увеличивает вязкость (40ХФА).

Хромокремнистые (33ХС) и хромокремниймарганцевые (хромансил) (25ХГСА) стали обладают высокой прочностью и умеренной вязкостью. Стали хромансилы обладают высокой свариваемостью, из них изготавливают стыковочные сварные узлы, кронштейны, крепежные и другие детали. Широко применяются в автомобилестроении и авиации.

Хромоникелевые стали 45ХН, 30ХНЗА отличаются хорошей прокаливаемостью, прочностью и вязкостью, но чувствительны к обратной отпускной хрупкости. Для уменьшения чувствительности вводят молибден или вольфрам. Ванадий способствует измельчению зерна.

Стали 36Х2Н2МФА, 38ХН3ВА др. обладают лучшими свойствами, относятся к мартенситному классу, слабо разупрочняются при нагреве до 300...400 °С. из них изготавливаются валы и роторы турбин, тяжело нагруженные детали редукторов и компрессоров.

5.1.4 Высокопрочные стали

Высокопрочными называют стали, имеющие предел прочности более 1500 МПа, который достигается подбором химического состава и оптимальной термической обработки.

Такой уровень прочности можно получить в среднеуглеродистых легированных сталях, (30ХГСН2А, 40ХН2МА), применяя закалку с низким отпуском (при температуре 200...250 °С) или изотермическую закалку с получением структуры нижнего бейнита.

После изотермической закалки среднеуглеродистые легированные стали имеют несколько меньшую прочность, но большую пластичность и вязкость. Поэтому они более надежны в работе, чем закаленные и низкоотпущенные.

При высоком уровне прочности закаленные и низкоотпущенные среднеуглеродистые стали обладают повышенной чувствительностью к концентраторам напряжения, склонностью к хрупкому разрушению, поэтому их рекомендуется использовать для работы в условиях плавного нагружения.

Легирование вольфрамом, молибденом, ванадием затрудняет разупрочняющие процессы при температуре 200...300 °С, способствует получению мелкого зерна, понижает порог хладоломкости, повышает сопротивление хрупкому разрушению.

Высокая прочность может быть получена и за счет термомеханической обработки.

Стали 30ХГСА, 38ХН3МА после низкотемпературной термомеханической обработки имеют предел прочности 2800 МПа, относительное удлинение и ударная вязкость увеличиваются в два раза по сравнению с обычной термической обработкой. Это связано с тем, что частичное выделение углерода из аустенита при деформации облегчает подвижность дислокаций внутри кристаллов мартенсита, что способствует увеличению пластичности.

Мартенситно-стареющие стали (03Н18К9М5Т, 04Х11Н9М2Д2ТЮ) превосходят по конструкционной прочности и технологичности среднеуглеродистые легированные стали. Они обладают малой чувствительностью к надразам, высоким сопротивлением хрупкому разрушению и низким порогом хладоломкости при прочности около 2000 МПа.

Мартенситно-стареющие стали представляют собой безуглеродистые сплавы железа с никелем (8..25 %), дополнительно легированные кобальтом, молибденом, титаном, алюминием, хромом и другими элементами. Благодаря высокому содержанию никеля, кобальта и малой концентрации углерода в результате закалки в воде или на воздухе фиксируется высокопластичный, но низкопрочный железоникелевый мартенсит, пересыщенный легирующими элементами. Основное упрочнение происходит в процессе старения при температуре 450...550 °С за счет выделения из мартенситной матрицы когерентно с ней связанных мелкодисперсных фаз. Мартенситно-стареющие стали обладают высокой конструкционной прочностью в интервале температур от криогенных до 500 °С и рекомендуются для изготовления корпусов ракетных двигателей, стволов артиллерийского и стрелкового оружия, корпусов подводных лодок, батискафов, высоконагруженных дисков турбомашин, зубчатых колес, шпинделей, червяков и т.д.

5.1.5 Пружинные стали

Пружины, рессоры и другие упругие элементы являются важнейшими деталями различных машин и механизмов. В работе они испытывают многократные переменные нагрузки. Под действием нагрузки пружины и рессоры упруго деформируются, а после прекращения действия нагрузки восстанавливают свою первоначальную форму и размеры. Особенностью работы является то, что при значительных статических и ударных нагрузках они должны испытывать только упругую деформацию, остаточная деформация не допускается. Основные требования к пружинным сталям – обеспечение высоких значений пределов упругости, текучести, выносливости, а также необходимой пластичности и сопротивления хрупкому разрушению, стойкости к релаксации напряжений.

Пружины работают в области упругих деформаций, когда между действующим напряжением и деформацией наблюдается пропорциональность. При длительной работе пропорциональность нарушается из-за перехода части энергии упругой деформации в энергию пластической деформации. Напряжения при этом снижаются.

Самопроизвольное снижение напряжений при постоянной суммарной деформации называется релаксацией напряжений.

Релаксация приводит к снижению упругости и надежности работы пружин.

Пружины изготавливаются из углеродистых (65, 70) и легированных (60С2, 50ХГС, 60С2ХФА, 55ХГР) конструкционных сталей.

Для упрочнения пружинных углеродистых сталей применяют холодную пластическую деформацию посредством дробеструйной и гидроабразивной обработок, в процессе которых в поверхностном слое деталей наводятся остаточные напряжения сжатия.

Повышенные значения предела упругости получают после закалки со средним отпуском при температуре 400...480 °С.

Для сталей, используемых для пружин, необходимо обеспечить сквозную прокаливаемость, чтобы получить структуру троостита по всему сечению.

Упругие и прочностные свойства пружинных сталей достигаются при изотермической закалке.

Пружинные стали легируют элементами, которые повышают предел упругости – кремнием, марганцем, хромом, вольфрамом, ванадием, бором.

В целях повышения усталостной прочности не допускается обезуглероживание при нагреве под закалку и требуется высокое качество поверхности.

Пружины и другие элементы специального назначения изготавливают из высокохромистых мартенситных (30X13), мартенситно-старееющих (03X12H10Д2Т), аустенитных нержавеющей (12X18H10Т), аустенито-мартенситных (09X15H8Ю), быстрорежущих (P18) и других сталей и сплавов.

5.1.6 Шарикоподшипниковые стали

Подвергаются воздействию высоких нагрузок переменного характера. Основными требованиями являются высокая прочность и износостойкость, высокий предел выносливости, отсутствие концентраторов напряжений, неметаллических включений, полостей, ликваций.

Шарикоподшипниковые стали характеризуются высоким содержанием углерода (около 1 %) и наличием хрома (ШХ9, ШХ15).

Высокое содержание углерода и хрома после закалки обеспечивает структуру мартенсит плюс карбиды, высокой твердости, износостойкости, необходимой прокаливаемости.

Дальнейшее увеличение прокаливаемости достигается дополнительным легированием марганцем, кремнием (ШХ15СГ).

Повышены требования в отношении чистоты и равномерности распределения карбидов, в противном случае может произойти выкрашивание. Стали подвергаются строгому металлургическому контролю на наличие пористости, неметаллических включений, карбидной сетки, карбидной ликвации.

Термическая обработка включает отжиг, закалку и отпуск. Отжиг проводят послековки для снижения твердости и подготовки структуры к закалке. Температура закалки составляет 790...880 °С в зависимости от массивности деталей. Охлаждение – в масле (кольца, ролики), в водном растворе соды или соли (шарики). Отпуск стали проводят при температуре 150...170 °С в течение 1...2 часов. Обеспечивается твердость 62...66 HRC.

Из стали ШХ9 изготавливают шарики и ролики небольших размеров, из стали ШХ15 – более крупные.

Детали подшипников качения, испытывающие большие динамические нагрузки (подшипники прокатных станков), изготавливают из сталей 20Х2Н4А и 18ХГТ с последующей глубокой цементацией на глубину 5...10 мм. Для деталей подшипников, работающих в азотной кислоте и других агрессивных средах, используется сталь 95Х18.

5.1.7 Стали для изделий, работающих при низких температурах

Для изделий, работающих при низких температурах, необходимо применять стали с пониженным порогом хладоломкости. Особенно сильно понижены температурные пороги хладоломкости в никельсодержащих сталях. Эффективными материалами являются низколегированные малоуглеродистые стали, которые обладают хорошей свариваемостью.

В строительных металлоконструкциях наибольший эффект достигается при использовании термомеханически упрочненного проката.

Для обеспечения высокого комплекса механических свойств деталей машин используются малоуглеродистые стали, легированные элементами способствующими дисперсионному упрочнению и образованию мелкозернистой структуры после термической обработки, 10ХСНД, 15Г2СФ, 12ГН2МФАЮ.

Для работы при сверх низких температурах применяют криогенные стали и сплавы для изготовления емкостей для хранения и перевозки сжиженных газов, имеющих очень низкую температуру кипения (кислород – минус 183 °С, водород – минус 253 °С). Основными материалами для работы в подобных условиях являются аустенитные стали с повышенным содержанием никеля 10Х14Г14Н4Т, 10Х18Н10Т, 03Х20Н16АГ6.

5.1.8 Износостойкие стали

Для работы в условиях изнашивания, сопровождаемого большими удельными нагрузками используется высокомарганцевая сталь 110Г13Л, имеющая в своем составе 1...1,4% углерода, 12...14 %

марганца. Сталь имеет аустенитную структуру и относительно низкую твердость (200...250 НВ). В процессе работы, когда на деталь действуют высокие нагрузки, которые вызывают в материале напряжения, превосходящие предел текучести, происходит интенсивное наклепывание стали и рост ее твердости и износостойкости. При этом сталь сохраняет высокую вязкость. Благодаря этим свойствам сталь широко используется для изготовления корпусов шаровых мельниц, щек камнедробилок, крестовин рельсов, гусеничных траков, козырьков землечерпалок и т.д.

Склонность к интенсивному наклепу является характерной особенностью сталей аустенитного класса.

5.1.9 Автоматные стали

Автоматными называют стали, обладающие повышенной обрабатываемостью резанием.

Эффективным металлургическим приемом повышения обрабатываемости резанием является введение в сталь серы, селена, теллура, кальция, которые изменяют состав неметаллических включений, а также свинца, который образует собственные включения.

Автоматные стали А12, А20 с повышенным содержанием серы и фосфора используются для изготовления малонагруженных деталей на станках автоматах (болты, винты, гайки, мелкие детали швейных, текстильных, счетных и других машин). Эти стали обладают улучшенной обрабатываемостью резанием, поверхность деталей получается чистой и ровной. Износостойкость может быть повышена цементацией и закалкой. Стали А30 и А40Г предназначены для деталей, испытывающих более высокие нагрузки.

5.2 Инструментальные стали

5.2.1 Стали для режущего инструмента

Инструментальная сталь должна обладать высокой твердостью, износостойкостью, достаточной прочностью и вязкостью (для инструментов ударного действия).

Режущие кромки могут нагреваться до температуры 500...900 °С, поэтому важным свойством является теплостойкость, т. е., способность сохранять высокую твердость и режущую способность при продолжительном нагреве (красностойкость).

5.2.2 Углеродистые инструментальные стали (ГОСТ 1435)

Содержат 0,65...1,35% углерода.

Стали У7...У13А – обладают высокой твердостью, хорошо шлифуются, дешевы и недефицитны.

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.

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.

Окончательная термическая обработка – закалка с последующим отпуском.

Закалку для доэвтектоидных сталей проводят полную, а для заэвтектоидных – неполную. Структура закаленных сталей или мартенсит, или мартенсит и карбиды.

Температура отпуска выбирается в зависимости от твердости, необходимой для инструмента.

Для инструментов ударного действия, требующих повышенной вязкости, из сталей У7, У8 отпуск проводят при температуре 280...300 °С, что обеспечивает твердость HRC 56...58.

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

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.

5.2.3 Легированные инструментальные стали

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

Высокая твердость и износостойкость в основном определяются высоким содержанием углерода. Легирование используется для

повышения закаливаемости и прокаливаемости, сохранения мелкого зерна, повышения прочности и вязкости.

Термическая обработка включает закалку и отпуск.

Проводят закалку с температуры 800...850 °С в масло или ступенчатую закалку, что уменьшает возможность коробления и образования закалочных трещин.

Отпуск проводят низкотемпературный, при температуре 150...200 °С, что обеспечивает твердость HRC 61...66. Иногда, для увеличения вязкости, температуру отпуска увеличивают до 300 °С, но при этом наблюдается снижение твердости HRC 55...60.

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. Недостатками сталей, содержащих кремний, являются чувствительность их к обезуглероживанию при термообработке, плохая обрабатываемость резанием и деформированием из-за упрочнения феррита кремнием.

Повышенное содержание марганца (стали ХВГ, 9ХВСГ) способствует увеличению количества остаточного аустенита, что уменьшает деформацию инструмента при закалке. Это особенно важно для инструмента, имеющего большую длину при малом диаметре, например, протяжек.

Хром увеличивает прокаливаемость и твердость после закалки.

Стали используются для изготовления инструмента и ударного, и режущего.

“Алмазная ” сталь ХВ5 содержит 5% вольфрама. Благодаря присутствию вольфрама, 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).

5.2.4 Быстрорежущие стали

Стали получили свое название за свойства. Вследствие высокой теплостойкости (550...650 °С), изготовленные из них инструменты могут работать с достаточно высокими скоростями резания.

Стали содержат 0,7...1,5 % углерода, до 18 % основного легирующего элемента – вольфрама, до 5 % хрома и молибдена, до 10 % кобальта.

Добавление ванадия повышает износостойкость инструмента, но ухудшает шлифуемость. Кобальт повышает теплостойкость до 650 °С и вторичную твердость HRC 67...70.

Микроструктура быстрорежущей стали в литом состоянии имеет эвтектическую структурную составляющую. Для получения оптимальных свойств инструментов из быстрорежущей стали необходимо по возможности 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.

Затем проводят отжиг стали при температуре 860...900 °С. Структура отожженной быстрорежущей стали – мелкозернистый (сорбитообразный) перлит и карбиды, мелкие эвтектоидные и более крупные первичные. 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. При закалке быстрорежущие стали требуют нагрева до очень высоких температур, около 1280 °С. Нагрев осуществляют в хорошо раскисленных соляных ваннах BaCl_2 , что улучшает равномерность прогрева и снижает возможность обезуглероживания поверхности. Для снижения термических фазовых напряжений нагрев осуществляют ступенчато: замедляют нагрев при температурах 600...650 °С и при 850...900 °С.

Охлаждение от закалочной температуры производится в масле. Структура стали после закалки состоит из легированного, очень тонкодисперсного мартенсита, значительного количества (30...40 %) остаточного аустенита и карбидов вольфрама. Твердость составляет 60...62 HRC. Наличие аустенита остаточного в структуре закаленной стали ухудшает режущие свойства.

Для максимального удаления аустенита остаточного проводят трехкратный отпуск при температуре 560 °С. При нагреве под отпуск выше 400 °С наблюдается увеличение твердости. Это объясняется тем, что из легированного остаточного аустенита выделяются легированные карбиды. Аустенит при охлаждении от температуры отпуска превращается в мартенсит отпуска, что вызывает прирост твердости. Увеличению твердости содействуют и выделившиеся при температуре отпуска мелкодисперсные карбиды легирующих

элементов. Максимальная твердость достигается при температуре отпуска 560 °С.

После однократного отпуска количество аустенита остаточного снижается до 10%. Чтобы уменьшить его количество до минимума, необходим трехкратный отпуск.

Твердость стали после отпуска составляет 64...65 HRC. Структура стали после термообработки состоит из мартенсита отпуска и карбидов.

При термической обработке быстрорежущих сталей применяют обработку холодом. После закалки сталь охлаждают до температуры минус 80 ... минус 100 °С, после этого проводят однократный отпуск при температуре 560 °С для снятия напряжений.

Иногда для повышения износостойкости быстрорежущих сталей применяют низкотемпературное цианирование.

Основными видами режущих инструментов из быстрорежущей стали являются резцы, сверла, долбяки, протяжки, метчики машинные и т.д. Часто из быстрорежущей стали изготавливают только рабочую часть инструмента.

5.2.5 Стали для измерительных инструментов

Основными требованиями, предъявляемыми к сталям, из которых изготавливаются измерительные инструменты, являются высокая твердость и износоустойчивость, стабильность в размерах в течение длительного времени. Последнее требование обеспечивается минимальным температурным коэффициентом линейного расширения и сведением к минимуму структурных превращений во времени.

Для изготовления измерительных инструментов применяются:

- высокоуглеродистые инструментальные стали, легированные и углеродистые (стали У12, X, X9, XГ), после закалки и стабилизирующего низкотемпературного (120...170 °С) отпуска в течение 10...30 ч. До отпуска желательно провести обработку холодом. Получают твердость 62...67 HRC;

- малоуглеродистые стали (сталь 15, 20) после цементации и закалки с низким отпуском

5.2.6 Штамповые стали

Инструмент, применяемый для обработки металлов давлением (штампы, пуансоны, матрицы) изготавливают из штамповых сталей.

Различают стали для штампов холодного и горячего деформирования.

Стали для штампов холодного деформирования.

Стали должны обладать высокой твердостью, износостойкостью, прочностью, вязкостью (чтобы воспринимать ударные нагрузки), сопротивлением пластическим деформациям.

Для штампов небольших размеров (до 25 мм) используют углеродистые инструментальные стали У10, У11, У12 после заковки и низкого отпуска на твердость 57...59 HRC. Это позволяет получить хорошую износостойкость и ударную вязкость.

Для более крупных изделий применяют легированные стали X, Х9, Х6ВФ. Для повышения износостойкости инструмента после термической обработки проводят цианирование или хромирование рабочих поверхностей.

Для уменьшения брака при закалке необходимо медленное охлаждение в области температур мартенситного превращения (например, закалка из воды в масло для углеродистых сталей, ступенчатая закалка для легированных сталей).

Если штамповый инструмент испытывает ударные нагрузки, то используют стали, обладающие большей вязкостью (стали 4ХС4, 5ХНМ). Это достигается снижением содержания углерода, введением легирующих элементов и соответствующей термической обработкой. После заковки проводят высокий отпуск при температуре 480...580⁰ С, что обеспечивает твердость 38...45 HRC.

Стали для штампов горячего деформирования.

Дополнительно к общим требованиям, от сталей этой группы требуется устойчивость против образования трещин при многократном нагреве и охлаждении, окалиностойкость, высокая теплопроводность для отвода теплоты от рабочих поверхностей штампа, высокая прокаливаемость для обеспечения высокой прочности по всему сечению инструмента.

Для изготовления молотовых штампов применяют хромоникелевые среднеуглеродистые стали 5ХНМ, 5ХНВ, 4ХСМФ. Вольфрам и молибден добавляют для снижения склонности к отпускной хрупкости. После термической обработки, включающей закалку с температуры 760...820⁰С и отпуск при 460...540⁰С, сталь имеет структуру – сорбит или троостит и сорбит отпуска. Твердость 40...45 HRC.

Штампы горячего прессования работают в более тяжелых условиях. Для их изготовления применяются стали повышенной теплостойкости. Сталь 3Х2В8Ф сохраняет теплостойкость до 650⁰С, но наличие карбидов вольфрама снижает вязкость. Сталь 4Х5В2ФС имеет высокую вязкость. Повышенное содержание хрома и кремния значительно увеличивает окалиностойкость стали.

5.2.7 Твердые сплавы

В качестве материалов для инструментов используются твердые сплавы, которые состоят из твердых карбидов и связующей фазы. Они изготавливаются методами порошковой металлургии.

Характерной особенностью твердых сплавов является очень высокая твердость 87...92 HRC при достаточно высокой прочности. Твердость и прочность зависят от количества связующей фазы (кобальта) и величины зерен карбидов. Чем крупнее зерна карбидов, тем выше прочность. Твердые сплавы отличаются большой износостойкостью и теплостойкостью. Основными твердыми сплавами являются группы ВК ($WC + Co$), ТК ($WC + TiC + Co$), ТТК ($WC + TiC + TaC + Co$). Наиболее распространенными сплавами группы ВК являются сплавы марок ВК3, ВК6, ВК8, ВК20, где число показывает содержание кобальта в процентах, остальное – карбиды вольфрама WC . Сплавы группы ТК марок Т30К6, Т14К8 – первое число показывает содержание карбидов титана в процентах, второе – содержание кобальта в процентах. Сплавы этой группы лучше противостоят изнашиванию, обладают большей твердостью, тепло и жаростойкостью, стойкостью к коррозии, но меньшей теплопроводностью и большей хрупкостью. Используются на средних и высоких скоростях резания.

Сплавы с малым количеством кобальта обладают повышенной твердостью и износостойкостью, но минимальной прочностью, Поэтому их используют для чистового точения (ВК3, Т30К4).

Сплавы с повышенным содержанием кобальта используют для чернового точения (ВК8, Т14К8).

Сплав ВК20 начинают использовать для армирования штампов, что повышает их износостойкость.

Износостойкость инструментов из твердых сплавов превышает износостойкость инструментов из быстрорежущих сталей в 10...20 раз и сохраняется до температур 800...1000 °С.

5.2.8 Алмаз как материал для изготовления инструментов

80 % добываемых природных алмазов и все синтетические алмазы используются в качестве инструментальных материалов.

Основное количество алмазов используется в виде алмазного порошка для изготовления алмазно-абразивного инструмента – шлифовальных кругов, притиров, хонов, надфилей и др., для обработки особо твердых металлов и горных пород. Большое значение имеют заточные круги для твердосплавного инструмента, это увеличивает производительность труда и срок службы инструмента. Повышение стойкости твердосплавного инструмента

обеспечивается высокой чистотой (отсутствие зазубрин, мелких трещин) лезвия инструмента.

Алмазный инструмент изготавливается в виде алмазосодержащих кругов с бакелитовой или металлической связкой.

Также изготавливают алмазные резцы, фильеры (для волочения проволоки из высокотвердых и драгоценных металлов) и др.

5.3 Коррозионно-стойкие стали и сплавы. Жаростойкие стали и сплавы. Жаропрочные стали и сплавы

5.3.1 Коррозия электрохимическая и химическая

Разрушение металла под воздействием окружающей среды называют коррозией.

Коррозия помимо уничтожения металла отрицательно влияет на эксплуатационные характеристики деталей, содействуя всем видам разрушения.

Коррозия в зависимости от характера окружающей среды может быть химической и электрохимической.

Электрохимическая коррозия имеет место в водных растворах, а так же в обыкновенной атмосфере, где имеется влага.

Сущность этой коррозии в том, что ионы металла на поверхности детали, имея малую связь с глубинными ионами, легко отрываются от металла молекулами воды.

Металл, потеряв часть положительно заряженных частиц, ионов, заряжается отрицательно за счет избыточного количества оставшихся электронов. Одновременно слой воды, прилегающий к металлу, за счет ионов металла приобретает положительный заряд. Разность зарядов на границе металл – вода обуславливает скачок потенциала, который в процессе коррозии изменяется, увеличиваясь от растворения металла, и уменьшаясь от осаждения ионов из раствора на металле.

Если количество ионов переходящих в раствор и осаждающихся на металле одинаково, то скорости растворения и осаждения металла равны и процесс коррозии (разрушения металла) не происходит.

В зависимости от структуры коррозия имеет разное проявление: при однородном металле – коррозия происходит равномерно по всей поверхности. При неоднородном металле – коррозия избирательная и называется точечной. Это явление наиболее опасно, так как приводит к быстрой порче всего изделия. Избирательная коррозия создает очаги концентрации напряжений, что содействует разрушению.

Химическая коррозия может происходить за счет взаимодействия металла с газовой средой при отсутствии влаги. Продуктом коррозии

являются оксиды металла. Образуется пленка на поверхности металла толщиной в 1...2 периода кристаллической решетки. Этот слой изолирует металл от кислорода и препятствует дальнейшему окислению, защищает от электрохимической коррозии в воде. При создании коррозионно-стойких сплавов – сплав должен иметь повышенное значение электрохимического потенциала и быть по возможности однофазным.

5.3.2 Классификация коррозионно-стойких сталей и сплавов

Коррозионная стойкость может быть повышена, если содержание углерода свести до минимума, если ввести легирующий элемент, образующий с железом твердые растворы в таком количестве, при котором скачкообразно повысится электродный потенциал сплава.

Важнейшими коррозионно-стойкими техническими сплавами являются нержавеющие стали с повышенным содержанием хрома: хромистые и хромоникелевые.

5.3.3 Хромистые стали

Содержание хрома должно быть не менее 13 % (13...18 %).

Коррозионная стойкость объясняется образованием на поверхности защитной пленки оксида Cr_2O_3 .

Углерод в нержавеющих сталях является нежелательным, так как он обедняет раствор хромом, связывая его в карбиды, и способствует получению двухфазного состояния. Чем ниже содержание углерода, тем выше коррозионная стойкость нержавеющих сталей.

Различают стали ферритного класса 08X13, 12X17, 08X25T, 15X28. Стали с повышенным содержанием хрома не имеют фазовых превращений в твердом состоянии и поэтому не могут быть подвергнуты закалке. Значительным недостатком ферритных хромистых сталей является повышенная хрупкость из-за крупнокристаллической структуры. Эти стали склонны к межкристаллитной коррозии (по границам зерен). Для избежания этого вводят небольшое количество титана. Межкристаллитная коррозия обусловлена тем, что часть хрома около границ зерна взаимодействует с углеродом и образует карбиды. Концентрация хрома в твердом растворе у границ становится меньше 13 % и сталь приобретает отрицательный потенциал.

Из-за склонности к росту зерна ферритные стали требуют строгих режимов сварки и интенсивного охлаждения зоны сварного шва. Недостатком является и склонность к охрупчиванию при нагреве в интервале температур 450...500 °С

Для повышения механических свойств ферритных хромистых сталей в них добавляют 2...3 % никеля. Стали 10X13H3, 12X17H2

используются для изготовления тяжело нагруженных деталей, работающих в агрессивных средах. После закалки от температуры 1000 °С и отпуска при 700...750 °С предел текучести сталей составляет 1000 МПа.

Термическую обработку для ферритных сталей проводят для получения структуры более однородного твердого раствора, что увеличивает коррозионную стойкость.

Стали мартенситного класса 20X13, 30X13, 40X13. После закалки и отпуска при 180...250 °С стали 30X13, 40X13 имеют твердость 50...60 HRC и используются для изготовления режущего инструмента, пружин для работы при температуре 400...450 °С.

Стали аустенитного класса – высоколегированные хромоникелевые стали.

Нержавеющие стали аустенитного класса 04X18H10, 12X18H9T имеют более высокую коррозионную стойкость, лучшие технологические свойства по сравнению с хромистыми нержавеющими сталями, лучше свариваются. Они сохраняют прочность до более высоких температур, менее склонны к росту зерна при нагреве и не теряют пластичности при низких температурах.

Хромоникелевые стали коррозионностойки в окислительных средах. Основным элементом является хром, никель только повышает коррозионную стойкость.

Аустенитно-ферритные стали 12X21H5T, 08X22H6T являются заменителями хромоникелевых сталей с целью экономии никеля.

Свойства сталей зависят от соотношения ферритной и аустенитной фаз. Термическая обработка сталей включает закалку от температуры 1100...1150 °С и отпуск-старение при температуре 500...750 °С.

Аустенитно-ферритные стали не подвержены коррозионному растрескиванию под напряжением: трещины могут возникать только на аустенитных участках, но ферритные участки задерживают их развитие. При комнатных температурах аустенитно-ферритные стали имеют твердость и прочность выше, а пластичность и ударную вязкость ниже, чем стали аустенитного класса.

Кроме нержавеющих сталей в промышленности применяют коррозионно-стойкие сплавы – это сплавы на никелевой основе. Сплавы являются коррозионно-стойкими в особо агрессивных средах (кипящая фосфорная или соляная кислота), обладают высокими механическими свойствами. Недостатком является склонность к межкристаллической коррозии, поэтому содержание углерода в этих сплавах должно быть минимальным.

5.3.4 Жаростойкость, жаростойкие стали и сплавы

Жаростойкость (окалиностойкость) – это способность металлов и сплавов сопротивляться газовой коррозии при высоких температурах в течение длительного времени.

Если изделие работает в окислительной газовой среде при температуре 500..550 °С без больших нагрузок, то достаточно, чтобы они были только жаростойкими (например, детали нагревательных печей).

Для повышения жаростойкости в состав стали вводят элементы, которые образуют с кислородом оксиды с плотным строением кристаллической решетки (хром, кремний, алюминий).

5.3.5 Жаропрочность, жаропрочные стали и сплавы

Жаропрочность – это способность металла сопротивляться пластической деформации и разрушению при высоких температурах.

Жаропрочные материалы используются для изготовления деталей, работающих при высоких температурах, когда имеет место явление ползучести.

Критериями оценки жаропрочности являются кратковременная и длительная прочности, ползучесть.

Ползучесть – свойство металла медленно пластически деформироваться под действием постоянной нагрузки при постоянной температуре.

При испытаниях образцы помещают в печь с заданной температурой и прикладывают постоянную нагрузку. Измеряют деформацию индикаторами.

При обычной температуре и напряжениях выше предела упругости $\sigma > \sigma_{упр}$, ползучесть не наблюдается, а при температуре выше $0,6T_{пл}$, когда протекают процессы разупрочнения, и при напряжениях выше предела упругости $\sigma > \sigma_{упр}$, наблюдается ползучесть.

Для углеродистых сталей ползучесть наблюдается при нагреве выше 400 °С.

Предел ползучести – напряжение, которое за определенное время при заданной температуре вызывает заданное суммарное удлинение или заданную скорость деформации.

Классификация жаропрочных сталей и сплавов.

В качестве современных жаропрочных материалов можно отметить перлитные, мартенситные и аустенитные жаропрочные стали, никелевые и кобальтоавые жаропрочные сплавы, тугоплавкие металлы.

При температурах до 300⁰ С обычные конструкционные стали имеют высокую прочность, нет необходимости использовать высоколегированные стали.

Для работы в интервале температур 350...500⁰С применяют легированные стали перлитного, ферритного и мартенситного классов.

Перлитные жаропрочные стали. К этой группе относятся котельные стали и силхромы. Эти стали применяются для изготовления деталей котельных агрегатов, паровых турбин, двигателей внутреннего сгорания. Стали содержат относительно мало углерода. Перлитные стали обладают удовлетворительной свариваемостью, поэтому используются для сварных конструкций.

Для деталей газовых турбин применяют сложнелегированные стали мартенситного класса 12Х2МФСР, 12Х2МФБ, 15Х12ВНМФ. Увеличение содержания хрома повышает жаростойкость сталей. Хром, вольфрам, молибден и ванадий повышают температуру рекристаллизации, образуются карбиды, повышающие прочность после термической обработки. Термическая обработка состоит из закалки от температур выше 1000⁰С в масле или на воздухе и высокого отпуска при температурах выше температуры эксплуатации.

При рабочих температурах 500...700⁰С применяются стали аустенитного класса. Основными жаропрочными аустенитными сталями являются хромоникелевые стали, дополнительно легированные вольфрамом, молибденом, ванадием и другими элементами. Стали содержат 15...20 % хрома и 10...20 % никеля. Обладают жаропрочностью и жаростойкостью, пластичны, хорошо свариваются, но затруднена обработка резанием и давлением.

По структуре стали подразделяются на две группы:

1) Аустенитные стали с гомогенной структурой 17Х18Н9, 09Х14Н19В2БР1, 12Х18Н12Т. Содержание углерода в этих сталях минимальное. Для создания большей однородности аустенита стали подвергаются закалке с 1050...1100⁰С в воде, затем для стабилизации структуры – отпуску при 750⁰С;

2) Аустенитные стали с гетерогенной структурой 37Х12Н8Г8МФБ, 10Х11Н20ТЗР;

Термическая обработка сталей включает закалку с 1050...1100⁰С. После закалки старение при температуре выше эксплуатационной (600...750⁰С). В процессе выдержки при этих температурах в дисперсном виде выделяются карбиды, карбонитриды, вследствие чего прочность стали повышается.

Детали, работающие при температурах 700...900 °С, изготавливают из сплавов на основе никеля и кобальта.

Никелевые сплавы преимущественно применяют в деформированном виде. Они содержат более 55 % никеля и минимальное количество углерода (0,06...0,12 %). По жаропрочным свойствам превосходят лучшие жаропрочные стали.

По структуре никелевые сплавы разделяют на гомогенные (нихромы) и гетерогенные (нимоники).

Нихромы. Основой этих сплавов является никель, а основным легирующим элементом – хром (ХН60Ю, ХН78Т).

Нихромы не обладают высокой жаропрочностью, но они очень жаростойки. Их применяют для мало нагруженных деталей, работающих в окислительных средах, в том числе и для нагревательных элементов.

Нимоники являются четвертными сплавами никель – хром (около 20 %) – титан (около 2 %) – алюминий (около 1 %) (ХН77ТЮ, ХН70МВТЮБ, ХН55ВМТФКЮ). Используются только в термически обработанном состоянии. Термическая обработка состоит из закалки с 1050...1150 °С на воздухе и отпуска – старения при 600...800 °С.

Увеличение жаропрочности сложнолегированных никелевых сплавов достигается упрочнением твердого раствора введением кобальта, молибдена, вольфрама.

Основными материалами, которые могут работать при температурах выше 900 °С (до 2500 °С), являются сплавы на основе тугоплавких металлов – вольфрама, молибдена, ниобия и других.

Температуры плавления основных тугоплавких металлов: вольфрам – 3400 °С, тантал – 3000 °С, молибден – 2640 °С, ниобий – 2415 °С, хром – 1900 °С.

Высокая жаропрочность таких металлов обусловлена большими силами межатомных связей в кристаллической решетке и высокими температурами рекристаллизации.

Наиболее часто применяют сплавы на основе молибдена. В качестве легирующих добавок в сплавы вводят титан, цирконий, ниобий. С целью защиты от окисления проводят силицирование. При температуре 1700 °С силицированные детали могут работать 30 часов.

Вольфрам – наиболее тугоплавкий металл. Его используют в качестве легирующего элемента в сталях и сплавах различного назначения. В качестве легирующих элементов к вольфраму добавляют молибден, тантал. Для сплавов на основе вольфрама характерна низкая жаростойкость.

6 Цветные металлы и сплавы

Медные сплавы

Медные сплавы делятся на две группы:

- 1) Латунь;
- 2) Бронзы

Латунь – это сплавы меди с цинком. Цинк повышает прочность и пластичность сплава. Максимальной пластичностью обладает сплав с 30 % Zn.

Латуни легко поддаются деформации и поэтому из латуни изготавливают катаный полуфабрикат (листы, ленты, профили и т.д.). Латуни с содержанием цинка до 40 % пластичны, хорошо обрабатываются давлением в горячем состоянии, коррозионностойки.

Кроме простых латуней – сплавов только меди и цинка, применяют специальные латуни, в которых для придания тех или иных свойств дополнительно вводят различные элементы: свинец для улучшения обрабатываемости (автоматная латунь ЛС59, содержащая 40 % Zn и 1-2 % Pb), олово для повышения сопротивления коррозии в морской воде (морская латунь), алюминий и никель для повышения механических свойств.

Практически применяемые латуни в зависимости от структуры при комнатной температуре разделяются на две категории:

- α – латуни, содержащие меди не менее 61 %. Марки этих латуней Л62, Л68 и др. Их изготавливают в виде тонких листов, лент др.

α – Латуни с более высоким содержанием меди (Л80) имеют цвет золота, и их применяют для ювелирных и декоративных изделий. Латуни, содержащие высокий процент меди, называют томпаком.

- $\alpha + \beta$ – латуни, содержащие 55 – 61 % меди. Наиболее распространенная марка Л59, из которой изготавливают прутки, а из них с помощью обработки резанием – различные детали.

Латуни с содержанием цинка до 40 % – пластичны, хорошо обрабатываются давлением в горячем состоянии, коррозионностойки.

Бронза – это сплав меди с оловом, алюминием, кремнием и другими элементами, обладающие хорошими литейными свойствами (малой усадкой) и использующиеся как антифрикционные сплавы.

Маркировка бронзы: БрОЦС8-4-3, содержащая 8 % Sn, 4 % Zn, 3 % Pb, остальное – медь.

В зависимости от вида легирующего элемента различают:

1) Оловянные бронзы. При сплавлении меди с оловом образуются твердые растворы. Эти сплавы очень склонны к ликвации

из-за большого температурного интервала кристаллизации. Благодаря ликвации сплавы с содержанием олова выше 5 % имеют в структуре эвтектоидную составляющую, состоящую из мягкой и твердой фазы. Такое строение является благоприятным для деталей типа подшипников скольжения: мягкая фаза обеспечивает хорошую прирабатываемость, твердые частицы создают износостойкость. Поэтому оловянные бронзы являются хорошими антифрикционными материалами.

Оловянные бронзы имеют низкую объемную усадку (около 0,8 %), поэтому используются в художественном литье.

Наличие фосфора обеспечивает хорошую жидкотекучесть.

Оловянные бронзы подразделяются на деформируемые и литейные.

В деформируемых бронзах содержание олова не должно превышать 6 %, для обеспечения необходимой пластичности, БрОФ6,5-0,15.

В зависимости от состава деформируемые бронзы отличаются высокими механическими, антикоррозионными, антифрикционными и упругими свойствами, и используются в различных отраслях промышленности. Из этих сплавов изготавливают прутки, трубы, ленту, проволоку.

Алюминиевые бронзы, содержащие 9-11 % Al обладают хорошими технологическими и механическими свойствами. Их применяют для изготовления зубчатых колес, сальников, деталей турбин.

Положительные особенности алюминиевых бронз по сравнению с оловянными:

- а) меньшая склонность к внутрикристаллической ликвации;
- б) большая плотность отливок;
- в) более высокая прочность и жаропрочность;
- г) меньшая склонность к хладоломкости.

Основные недостатки алюминиевых бронз:

- а) значительная усадка;
- б) склонность к образованию столбчатых кристаллов при кристаллизации и росту зерна при нагреве, что охрупчивает сплав;
- в) сильное газопоглощение жидкого расплава;
- г) самоотпуск при медленном охлаждении;
- д) недостаточная коррозионная стойкость в перегретом паре.

Для устранения этих недостатков сплавы дополнительно легируют марганцем, железом, никелем, свинцом.

2) Кремнистые бронзы, БрКМц3-1, БрК4, применяют как заменители оловянных бронз. Они немагнитны и морозостойки, превосходят оловянные бронзы по коррозионной стойкости и механическим свойствам, имеют высокие упругие свойства. Сплавы хорошо свариваются и подвергаются пайке. Благодаря высокой устойчивости к щелочным средам и сухим газам, их используют для производства сточных труб, газо и дымопроводов;

3) Бериллиевые бронзы, БрБ2, являются высококачественным пружинным материалом. Растворимость бериллия в меди с понижением температуры значительно уменьшается. Это явление используют для получения высоких упругих и прочностных свойств изделий методом дисперсионного твердения. Готовые изделия из бериллиевых бронз подвергают закалке от 800 °С, благодаря чему фиксируется при комнатной температуре пересыщенный твердый раствор бериллия в меди. Затем проводят искусственное старение при температуре 300...350 °С. При этом происходит выделение дисперсных частиц, возрастают прочность и упругость. После старения предел прочности достигает 1100...1200 МПа.

Медно-никелевые сплавы, в которых основным легирующим элементом является никель. Эти сплавы можно разделить на конструкционные и электротехнические.

4) Свинцовые бронзы, БрС30, используют как высококачественный антифрикционный материал. По сравнению с оловянными бронзами имеют более низкие механические и технологические свойства.

Алюминиевые сплавы

Алюминий – один из наиболее легких конструкционных металлов. Он обладает высокой пластичностью. В чистом виде алюминий имеет небольшую прочность, кристаллическую решётку ГЦК и обладает высокой коррозионной стойкостью из-за образования на поверхности пленки, содержащей химическое соединение Al_2O_3 .

Алюминий и его сплавы используют в качестве проводниковых материалов. По технологическому признаку алюминиевые сплавы делятся на деформируемые (термически не упрочняемые и упрочняемые) и литейные.

К деформируемым алюминиевым сплавам относятся:

а) сплавы алюминия с марганцем АМц (АМц3) и сплавы алюминия с магнием АМг (АМг6). Марганец и магний повышают прочность алюминия в три раза. Используют эти сплавы при изготовлении сварных емкостей для горючего, азотной и других кислот, трубопроводов, средне-нагруженных деталей конструкций;

б) дюралюмины – сплавы алюминия с медью (2,2-4,8 %), магнием (0,4-2,4 %), марганцем (0,4-0,8 %). Это термически упрочняемые сплавы. Обозначение дюралюминов: Д1, Д6, Д16 (номера условные).

Для защиты дюралюминов от коррозии используют так называемое плакирование (покрытие тонким защитным слоем из чистого алюминия);

в) ковочные сплавы (АК) для деталей, изготавливаемых ковкой и давлением. Обозначение: АК1, АК5 (номер условный).

Эти сплавы обладают способностью сохранять механические свойства при повышенных температурах.

К литейным алюминиевым сплавам относятся сплавы алюминия с кремнием (так называемые силумины), содержащие 4-13 % Si.

Силумины маркируют: АЛ2, АЛ13 (порядковый номер). Применяют такие сплавы для изготовления литых деталей приборов, корпусов турбонасосов, тонкостенных отливок сложной формы.

Магниевые сплавы

В качестве легирующих добавок в магниевых сплавах используют алюминий, цинк и марганец, растворяющиеся в магнии. Растворимость падает с уменьшением температуры, что позволяет применять для этих сплавов термическую обработку, заключающуюся в закалке с последующим старением.

Магниевые сплавы делятся на деформируемые (МА) и литейные (МЛ). Эти сплавы очень легкие.

Титан и его сплавы.

Титан – это серебристо-белый металл с малой плотностью ($4,5 \text{ г/см}^3$) и высокой температурой плавления ($1672 \text{ }^\circ\text{C}$), имеющий две аллотропические модификации: α – низкотемпературную с плотноупакованной гексагональной решёткой и β – высокотемпературную с кубической объёмноцентрированной решёткой. Температура перехода $\alpha \leftrightarrow \beta$ равна $882 \text{ }^\circ\text{C}$.

Для улучшения прочностных и пластических свойств титан легируется различными элементами, содержание которых, в общей сложности, не превышает 10–15 %. Легирующие элементы смещают температуру аллотропического превращения титана.

Титан имеет высокую коррозионную стойкость в большом количестве агрессивных сред, превосходя в этом отношении нержавеющую сталь. При нагреве до $500 \text{ }^\circ\text{C}$ титан становится активным и поглощает из атмосферы газы (кислород, азот, водород), что сильно влияет на его механические свойства.

Технический титан маркируется в зависимости от содержания примесей: ВТ1-00 (сумма примесей менее 0,398 %), ВТ1-0 (сумма примесей менее 0,55 %).

Титановые сплавы классифицируются:

- по технологии изготовления на деформируемые, литейные и изготовленные методами порошковой металлургии. Для маркировки деформируемых титановых сплавов используется буквенно-цифровой код:

- ОТ4-0, ОТ4-1, ОТ4 – сплавы, в которых основными легирующими добавками являются алюминий и марганец;

- ВТ5, ВТ5-1, ВТ3-1, ВТ6, ВТ9 и т.д. – сплавы, легированные алюминием или алюминием и вольфрамом.

Стоящие за буквами цифры являются условным порядковым номером.

Особенности маркировки литейных титановых сплавов – наличие буквы Л в конце обозначения марки: ВТ5Л, ВТ3-1Л и др.

Для изготовления деталей методом порошковой металлургии используют сплавы ВТ5, ВТ5-1, ОТ4 и др. Литейные сплавы титана обладают более низкими механическими свойствами, чем соответствующие деформируемые; по способу упрочнения на термически упрочняемые и не упрочняемые термической обработкой.

Преимуществом титановых сплавов:

- сочетание высокой прочности ($\sigma_{\text{в}} = 800\text{-}1500$ МПа) с хорошей пластичностью ($\delta = 18\text{-}25$ %);

- малая плотность и высокая удельная прочность ($\sigma_{\text{в}}/\gamma$ до 40);

- хорошая жаропрочность (до 600-700 °С);

- высокая коррозионная стойкость;

- низкая пластичность при комнатной температуре;

- высокая чувствительность к поверхностным дефектам.

Все титановые сплавы подвергаются термообработке, ХТО и ТМО и для повышения их износостойкости возможно применение цементации и азотирования.

Основными недостатками титана и его сплавов являются:

- высокая способность при повышенных температурах к взаимодействию со всеми газами, а также с материалами плавильных печей;

- невысокие антифрикционные свойства;

- плохая обрабатываемость резанием;

- невысокая жесткость конструкции из-за низкого значения модуля упругости.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите основные способы и исходные материалы, используемые при производстве меди, алюминия, магния, титана.
2. Алюминий и его сплавы.
3. Медь и его сплавы.
4. Цинк и его сплавы.
5. Олово и его сплавы.
6. Магний и его сплавы.

Тестовые задания

1. Укажите в каком варианте представлен химический состав сплава БрА7

- А) Cu – 7%, остальное алюминий;
- В) Al – 7%, остальное медь;
- С) Cu – 7%, остальное олово;
- Д) Al – 7%, остальное олово;
- Е) Al – 0,7%, остальное медь.

2. Буква Л в марке стали 45ФЛ обозначает

- А) латунь;
- В) литий;
- С) литейная сталь;
- Д) легированная сталь;
- Е) ледебуритная сталь.

3. Сплав меди с цинком называется

- А) латунью;
- В) бронзой;
- С) силумином;
- Д) авиалью;
- Е) дюралюминием.

4. Какой сплав маркируется буквой Л?

- А) легкоплавкий сплав;
- В) латунь
- С) сплав на основе лития;
- Д) лантановый сплав;
- Е) легированная сталь;

5. Назовите основные типы сплавов

- A) чугуны и цветные сплавы;
- B) стали и чугуны;
- C) стали и цветные сплавы;
- D) черные и цветные сплавы;
- E) черные металлы, латуни и бронзы.

6. Наиболее распространенными литейными сплавами алюминия с кремнием являются:

- A) силумины
- B) дуралюмины
- C) авиалии
- D) высокопрочные
- E) нет правильного ответа

7. Сплав меди с оловом называется:

- A) сталью;
- B) латунию;
- C) бронзой;
- D) силумином;
- E) авиалью.

8. Латунь специальная ЛНА59-3-2 содержит 59% меди, 3% никеля, 2% алюминия, а остальное

- A) цинк;
- B) марганец;
- C) железо;
- D) олово;
- E) свинец.

7 Новые материалы

7.1 Композиционные материалы

Композиционные материалы (композиты) – это новый класс легких и высокопрочных материалов с большим сопротивлением развитию трещины. Это искусственно созданные материалы, которые состоят из двух или более компонентов, различающихся по составу и разделенных выраженной границей, и которые имеют новые свойства, запроектированные заранее.

По удельной прочности и удельной жесткости композиты превосходят все обычные конструкционные материалы. Кроме того, они сохраняют высокую прочность при повышенных температурах, хорошо сопротивляются усталостному разрушению.

Композиты – сложные материалы, в состав которых входят сильно отличающиеся по свойствам, не растворимые друг в друге компоненты, разделенные ярко выраженной границей.

Свойства композиционных материалов зависят от свойств компонентов и прочности связи между ними. Отличительная особенность: композиты проявляют достоинства компонентов, а не их недостатки. Вдобавок появляются свойства, которых не имели отдельно взятые компоненты. Поэтому для создания композитов выбирают компоненты с дополняющими друг друга свойствами.

7.1.1 Строение композитов

Композиционный материал состоит из основы, или матрицы (металлической или полимерной) и наполнителя, или армирующего компонента.

Компонент, непрерывный во всем объеме композиционного материала, называется матрицей.

Компонент прерывистый, разделенный в объеме композиционного материала, называется арматурой.

Матрица придает требуемую форму изделию, влияет на создание свойств композиционного материала, защищает арматуру от механических повреждений и других воздействий среды.

В качестве матриц в композиционных материалах могут быть использованы металлы и их сплавы, полимеры органические и неорганические, керамические, углеродные и другие материалы. Свойства матрицы определяют технологические параметры процесса получения композиции и ее эксплуатационные свойства: плотность, удельную прочность, рабочую температуру, сопротивление усталостному разрушению и воздействию агрессивных сред.

От свойств матрицы зависят технология получения материала, рабочая температура, удельная прочность, предел усталости.

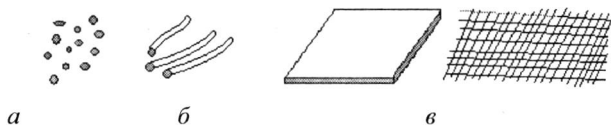
Наполнитель равномерно распределяется в матрице в определенном порядке. Наполнитель воспринимает нагрузку, поэтому должен иметь высокую прочность, твердость, модуль упругости.

Матрица распределяет нагрузку между частицами наполнителя, защищает их поверхность и повышает энергию распространения трещины, предупреждая хрупкое разрушение. Сама матрица не упрочняется, и в этом отличие композитов от металлических сплавов.

По геометрии наполнителя композиционные материалы подразделяются на три группы:

- с нуль мерными наполнителями, размеры которых в трех измерениях имеют один и тот же порядок;
- с одномерными наполнителями, один из размеров которых значительно превышает два других;
- с двумерными наполнителями, два размера которых значительно превышают третий (рисунок 7.1).

Композиционные материалы, упрочненные мелкими частицами наполнителя, называют дисперсно-упрочненными. Композиты, содержащие волокна, – волокнистыми. Двумерные наполнители применяются, в основном, в полимерных композитах.



а – частицы; *б* – волокна; *в* – пластины, листы, ткань

Рисунок 7.1 – Форма наполнителей в композиционных материалах

Армирующие или упрочняющие компоненты равномерно распределены в матрице. Они, как правило, обладают высокой прочностью, твердостью и модулем упругости и по этим показателям значительно превосходят матрицу. Вместо термина армирующий компонент можно использовать термин наполнитель.

Композиционные материалы классифицируют по геометрии наполнителя, расположению его в матрице, природе компонентов.

По геометрии наполнителя композиционные материалы подразделяются на три группы:

- с нульмерными наполнителями, размеры которых в трех измерениях имеют один и тот же порядок;
- с одномерными наполнителями, один из размеров которых значительно превышает два других;
- с двумерными наполнителями, два размера которых значительно превышают третий.

По схеме расположения наполнителей выделяют три группы композиционных материалов:

- с одноосным (линейным) расположением наполнителя в виде волокон, нитей, нитевидных кристаллов в матрице параллельно друг другу;
- с двухосным (плоскостным) расположением армирующего наполнителя, матов из нитевидных кристаллов, фольги в матрице в параллельных плоскостях;
- с трехосным (объемным) расположением армирующего наполнителя и отсутствием преимущественного направления в его расположении.

По природе компонентов композиционные материалы разделяются на четыре группы:

- композиционные материалы, содержащие компонент из металлов или сплавов;
- композиционные материалы, содержащие компонент из неорганических соединений оксидов, карбидов, нитридов и др.;
- композиционные материалы, содержащие компонент из неметаллических элементов, углерода, бора и др.;
- композиционные материалы, содержащие компонент из органических соединений эпоксидных, полиэфирных, фенольных и др.

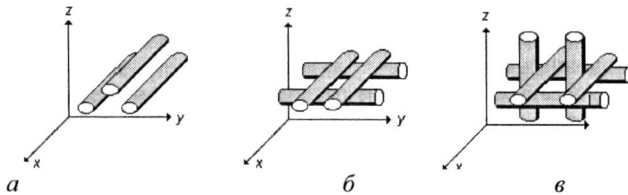
Свойства композиционных материалов зависят не только от физико-химических свойств компонентов, но и от прочности связи между ними. Максимальная прочность достигается, если между матрицей и арматурой происходит образование твердых растворов или химических соединений.

7.1.2 Волокнистые композиционные материалы

Наполнителями в них служат волокна или нитевидные кристаллы: углеродные, борные, из SiC , Al_2O_3 , стекла, а также проволока из коррозионно-стойкой стали, молибдена, вольфрама, бериллия. Волокна являются элементами, воспринимающими

нагрузку. Для матриц используются те же металлы, что и для предыдущей группы.

Для достижения максимальной прочности композиционного материала волокна должны быть расположены параллельно направлению действия напряжения. Поэтому расположение волокон может быть одноосным, двухосным или трехосным (рисунок 7.2).



a – одноосное; *б* – двухосное; *в* – трехосное

Рисунок 7.2 – Расположение армирующих волокон в композитах

Объемная доля волокна составляет от нескольких процентов до 80– 90 %. Увеличение доли наполнителя повышает прочность и другие характеристики.

Например, материал ВКА-1 состоит из алюминия и борного волокна. Предел прочности у него 1200 МПа (как у углеродистых сталей), а удельная прочность – намного выше, чем у сталей.

Получают волокнистые композиты формованием волокон в порошке матрицы, пропиткой волокна жидким металлом матрицы, осаждением матрицы на волокна с последующим формованием и спеканием и другими способами. Все больше применяется способ направленной кристаллизации эвтектик.

При одноосном армировании проявляется анизотропия: в направлении волокон прочность выше, чем в поперечном (так как нагрузку воспринимает волокно, а матрица – передающая среда). При двухосном армировании анизотропии нет, но прочность вдоль оси волокон уменьшается примерно в 3 раза (рисунок 7.3).

Чем тоньше и длиннее волокно, тем выше степень упрочнения.

Проблемы технологии композитов в том, что волокна бора, волокна, которые улучшают сцепление, но удорожают материал. Или проводят травление поверхности волокна. Это тоже улучшает схватываемость с металлом матрицы. На поверхности борных или углеродных волокон выращивают монокристаллы карбида кремния

SiC. Получаются ворсистые волокна – борсик. Если основой волокна является тончайшая вольфрамовая проволока диаметром 12 мкм, то на ней можно нарастить кристаллы бора. Все волокно будет иметь диаметр 70–200 мкм. Такие волокна прочнее сцепляются с матрицей.

Основной недостаток волокнистых композитов – их высокая стоимость и сложная технология получения.

Углеродные волокна несколько дешевле. Их получают из синтетических органических волокон высокотемпературной обработкой. Они могут быть изготовлены в виде жгутов, нитей, ткани, лент. Каждое волокно состоит из мельчайших ленточек – фибрилл.

Стекловолокно производят с квадратной, прямоугольной, шестигранной формой – для лучшей укладки в матрице.

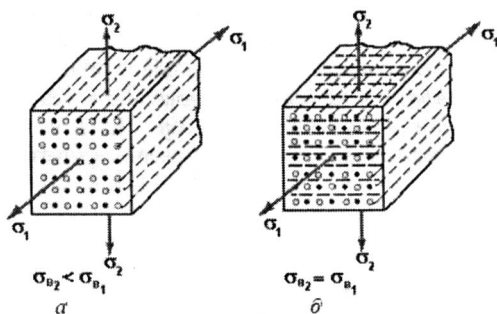


Рисунок 7.3 – Прочность при одноосном (а) и двухосном (б) армировании

7.1.3 Композиционные материалы на полимерной основе

В композитах на полимерной основе усилие от матрицы передается армирующему волокну за счет сил межмолекулярного взаимодействия адгезионного характера. Необходимо полное смачивание жидким связующим поверхности волокон.

Борные и углеродные волокна лучше смачиваются эпоксидной смолой. Так получают боропластики и углепластики.

Стекловолокниты имеют максимальную прочность и удельную прочность: σ_B составляет 700 МПа и даже 2400 МПа (при уменьшении диаметра волокон и добавке монокристаллов Al_2O_3 в матрицу).

Соединяют композиты точечной сваркой, склеиванием, клееболтовыми и клеезаклепочными соединениями.

Промышленное применение нашли композиционные материалы на основе алюминия, упрочненные частицами оксида алюминия (Al_2O_3). Их получают прессованием алюминиевой пудры с последующим спеканием (САП). Преимущества САП проявляются при температурах выше $300\text{ }^{\circ}C$, когда алюминиевые сплавы разупрочняются. Дисперсионно упрочненные сплавы сохраняют эффект упрочнения до температуры $0,8 T_{пл}$.

Сплавы САП удовлетворительно деформируются, легко обрабатываются резанием, свариваются аргонодуговой и контактной сваркой. Из САП выпускают полуфабрикаты в виде листов, профилей, труб, фольги. Из них изготавливают лопатки компрессоров, вентиляторов и турбин, поршневые штоки.

Широкое применение находят смешанные полимерные композиционные материалы, куда входят металлические и полимерные составляющие, которые дополняют друг друга по свойствам. Например, подшипники, работающие в условиях сухого трения, изготавливают из комбинации фторопласта и бронзы, что обеспечивает самосмазываемость и отсутствие ползучести.

7.2 Материалы порошковой металлургии

Порошковая металлургия – область техники, охватывающая процессы получения порошков металлов и металлоподобных соединений и процессы изготовления изделий из них без расплавления.

Характерной особенностью порошковой металлургии является применение исходного материала в виде порошков, из которых прессованием формируются изделия заданной формы и размеров. Полученные заготовки подвергаются спеканию при температуре ниже температуры плавления основного компонента.

Основными достоинствами технологии производства изделий методом порошковой металлургии являются:

- 1) возможность изготовления деталей из тугоплавких металлов и соединений, когда другие методы использовать невозможно;
- 2) значительная экономия металла за счет получения изделий высокой точности, в минимальной степени нуждающихся в последующей механической обработке (отходы составляют не более 1...3 %);
- 3) возможность получения материалов максимальной чистоты;
- 4) простота технологии порошковой металлургии.

Методом порошковой металлургии изготавливают твердые сплавы, пористые материалы: антифрикционные и фрикционные, фильтры; электропроводники, конструкционные детали, в том числе работающие при высоких температурах и в агрессивных средах.

7.2.1 Пористые порошковые материалы

Отличительной особенностью является наличие равномерной объемной пористости, которая позволяет получать требуемые эксплуатационные свойства.

Антифрикционные материалы (пористость 15...30 %), широко применяющиеся для изготовления подшипников скольжения, представляют собой пористую основу, пропитанную маслом. Масло поступает из пор на поверхность, и подшипник становится самосмазывающимся, не требуется подводить смазку извне. Такие подшипники почти не изнашивают поверхность вала, шум в 3...4 раза меньше, чем от шариковых подшипников.

Подшипники работают при скоростях трения до 6 м/с при нагрузках до 600 МПа. При меньших нагрузках скорости скольжения могут достигать 20...30 м/с. Коэффициент трения подшипников – 0,04...0,06.

Для изготовления используются бронзовые или железные порошки с добавлением графита (1...3 %).

Разработаны подшипниковые спеченные материалы на основе тугоплавких соединений (боридов, карбидов и др.), содержащие в качестве твердой смазки сульфиды, селениды и гексагональный нитрид бора. Подшипники могут работать в условиях вакуума и при температурах до 500 °С.

Применяют металлопластмассовые антифрикционные материалы: спеченные бронзографиты, титан, нержавеющие стали пропитывают фторопластом. Получаются коррозионностойкие и износостойкие изделия. Срок службы металлопластмассовых материалов вдвое больше, чем материалов других типов.

Фрикционные материалы (пористость 10...13 %) предназначены для работы в муфтах сцепления и тормозах. Условия работы могут быть очень тяжелыми: трущиеся поверхности мгновенно нагреваются до 1200 °С, а материал в объеме – до 500...600 °С. Применяют спеченные многокомпонентные материалы, которые могут работать при скоростях трения до 50 м/с на нагрузках 350...400 МПа. Коэффициент трения при работе в масле – 0,08...0,15, при сухом трении – до 0,7.

По назначению компоненты фрикционных материалов разделяют на группы:

а) основа – медь и ее сплавы – для рабочих температур 500...600 °С, железо, никель и сплавы на их основе – для работы при сухом трении и температурах 1000...1200 °С;

б) твердые смазки – предотвращают микросхватывание при торможении и предохраняют фрикционный материал от износа; используют свинец, олово, висмут, графит, сульфиты бария и железа, нитрид бора;

в) материалы, обеспечивающие высокий коэффициент трения – асбест, кварцевый песок, карбиды бора, кремния, хрома, титана, оксиды алюминия и хрома и др.

Примерный состав сплава: медь – 60...70 %, олово – 7 %, свинец – 5 %, цинк – 5...10 %, железо – 5...10 %, кремнезем или карбид кремния – 2...3 %, графит – 1...2 %.

Из фрикционных материалов изготавливают тормозные накладки и диски. Так как прочность этих материалов мала, то их прикрепляют к стальной основе в процессе изготовления (припекают к основе) или после (приклепывают, приклеивают и т.д.).

Фильтры (пористость 25...50 %) из спеченных металлических порошков по своим эксплуатационным характеристикам превосходят другие фильтрующие материалы, особенно когда требуется тонкая фильтрация.

Спекание позволяет получать фильтрующие материалы с относительно прямыми тонкими порами одинакового размера.

Изготавливают фильтры из порошков коррозионноустойчивых материалов: бронзы, нержавеющей стали, никеля, серебра, латуни и др. Для удовлетворения запросов металлургической промышленности разработаны материалы на основе никелевых сплавов, титана, вольфрама, молибдена и тугоплавких соединений. Такие фильтры работают тысячи часов и поддаются регенерации в процессе работы. Их можно продуть, протравить, прожечь.

Фильтрующие материалы выпускают в виде чашечек, цилиндров, втулок, дисков, плит. Размеры колеблются от дисков диаметром 1,5 мм до плит размерами 450 x 1000 мм. Наиболее эффективно применение фильтров из нескольких слоев с различной пористостью и диаметром пор.

7.2.2 Прочие пористые изделия

“Потеющие сплавы” – материалы, через стенки которых к рабочей наружной поверхности детали поступает жидкость или газ. Благодаря испарению жидкости температура поверхности понижается (лопатки газовых турбин).

Сплавы выпускаются на основе порошка нихрома с порами диаметром до 10...12 мкм при пористости 30 %. Сплавы этого типа используются и для решения обратной задачи: крылья самолетов покрывают пористым медно-никелевым слоем и подают через него на поверхность антифриз, препятствующий обледенению.

7.2.3 Конструкционные порошковые материалы

Спеченные стали. Типовыми порошковыми деталями являются кулачки, корпуса подшипников, ролики, звездочки распределительных валов, детали пишущих и вычислительных машин и другие. В основном это слабонагруженные детали, их изготавливают из порошка железа и графита. Средненагруженные детали изготавливают или двукратным прессованием – спеканием, или пропиткой спеченной детали медью или латуной. Детали сложной конфигурации (например, две шестерни на трубчатой оси) получают из отдельных заготовок, которые насаживают одну на другую с натягом и производят спекание. Для изготовления этой группы деталей используют смеси железо – медь – графит, железо – чугун, железо – графит – легирующие элементы.

Особое место занимают шестерни и поршневые кольца. Шестерни в зависимости от условий работы изготавливают из железо – графита или из железо – графита с медью или легирующими элементами. Снижение стоимости шестерни при переходе с нарезки зубьев на спекание порошка составляет 30...80 %. Пропитка маслом позволяет обеспечить самосмазываемость шестерни, уменьшить износ и снизить шум при работе.

Спеченные поршневые кольца изготавливают из смеси железного порошка с графитом, медью и сульфидом цинка (твердая смазка). Для повышения износостойкости делают двухслойные кольца: во внешний слой вводят хром и увеличивают содержание графита. Применение таких колец увеличивает пробег автомобильного двигателя, уменьшает его износ и сокращает расход масла.

Высоколегированные порошковые стали, содержащие 20 % хрома и 15 % никеля, используют для изготовления изделий, работающих в агрессивных средах.

7.3 Спеченные цветные металлы

Спеченный титан и его сплавы используют в виде полуфабрикатов (лист, трубы, прутки). Титановый каркас пропитывают магнием. Такие материалы хорошо обрабатываются давлением.

Широко используются материалы на основе меди, например, изготавливают бронзы – графитные шестерни. Свойства спеченных латуней выше, чем литых, из-за большей однородности химического состава и отсутствия посторонних включений.

Спеченные алюминиевые сплавы используют для изготовления поршней тяжело нагруженных двигателей внутреннего сгорания и других изделий, длительное время работающих при повышенных температурах, благодаря их повышенной жаропрочности и коррозионной стойкости.

Керамико-металлические материалы (керметы) содержат более 50 % керамической фазы. В качестве керамической фазы используют тугоплавкие бориды, карбиды, оксиды и нитриды, в качестве металлической фазы – кобальт, никель, тугоплавкие металлы, стали.

Керметы отличаются высокими жаростойкостью, износостойкостью, твердостью, прочностью. Они используются для изготовления деталей конструкций, работающих в агрессивных средах при высоких температурах (например, лопаток турбин, чехлов термопар). Частным случаем керметов являются твердые сплавы.

7.4 Электротехнические порошковые материалы

Электроконтактные порошковые материалы делятся на материалы для разрывных контактов и материалы для скользящих контактов.

Материалы разрывных контактов должны быть тепло- и электропроводными, эрозиястойкими при воздействии электрической дуги, не свариваться в процессе работы. Контактное сопротивление должно быть возможно меньшим, а критические сила тока и напряжение при образовании дуги – возможно большими. Чистых металлов, удовлетворяющих всем этим требованиям, нет. Изготавливают контактные материалы прессованием с последующим спеканием или пропиткой пористого тугоплавкого каркаса более легкоплавким металлом (например, вольфрам пропитывают медью или серебром).

Тяжело нагруженные разрывные контакты для высоковольтных аппаратов делают из смесей вольфрам – серебро – никель или железо – медь. В низковольтной и слаботочной аппаратуре широко используют материалы на основе серебра с никелем, оксидом кадмия и другими добавками, а также медно – графитовые материалы.

Для обеспечения антифрикционности, в состав смесей для скользящих контактов вводят твердые смазки – графит, дисульфид молибдена, гексагональный нитрид бора. Большинство контактов

электрических машин изготавливают из меди с графитом. Для коллекторных пластин пантографов используют бронзографитовые контакты. Контакты приборов изготавливают из серебра с графитом, серебра с палладием, никелем, дисульфидом молибдена, вольфрама с палладием.

7.5 Магнитные порошковые материалы

Различают магнитомягкие и магнитотвердые материалы.

Магнитомягкие – это материалы с большой магнитной проницаемостью и малой коэрцитивной силой, быстро намагничиваются и быстро теряют магнитные свойства при снятии магнитного поля. Основной магнитомягкий материал – чистое железо и его сплавы с никелем и кобальтом. Для повышения электросопротивления легируют кремнием, алюминием. Для улучшения прессуемости сплавов вводят до 1 % пластмассы, которая полностью испаряется при спекании. Пористость материалов должна быть минимальной.

Отдельно выделяется группа магнитодиэлектриков – это частицы магнитомягкого материала, разделенные тонким слоем диэлектрика – жидкого стекла или синтетической смолы. Таким материалам присущи высокое электросопротивление и минимальные потери на вихревые токи и на перемагничивание. Изготавливаются в результате смешивания, прессования и спекания, особенностью является то, что при нагреве частицы магнитного материала остаются изолированными и не меняют формы. За основу используют чистое железо.

Магнитотвердые материалы (постоянные магниты) – материалы с малой магнитной проницаемостью и большой коэрцитивной силой.

Магниты массой до 100 г изготавливают из порошковых смесей такого же состава, как литые магниты: железо – алюминий – никель (альни), железо – алюминий – никель – кобальт (альнико). После спекания этих сплавов обязательна термическая обработка с наложением магнитного поля.

Высокие магнитные свойства имеют магниты из сплавов редкоземельных металлов (церий, самарий, празеодим) с кобальтом.

7.6 Пластмассы

7.6.1 Неметаллические конструкционные материалы

Металлические конструкционные материалы прочны и надежны в эксплуатации, технологичны и во многих случаях экономически

эффективны. Но металлы обладают, тем не менее, рядом существенных недостатков, ограничивающих их применение.

Во-первых, многие металлы и сплавы подвержены коррозии в агрессивных средах. Высокая тепло- и электропроводимость металлов тоже не всегда является достоинством, так как необходимы и теплоизолирующие, и электроизолирующие материалы. Металлические материалы не всегда обеспечивают необходимую твердость и износостойкость в условиях трения. Во многих случаях недостаточной оказывается жаропрочность и жаростойкость металлов. Наиболее прочные металлические материалы имеют большую плотность, т. е. не позволяют получить высокую удельную прочность. Наконец, технологическая цепочка от добычи руды до готового металлического изделия очень длинна по времени, включает огромное число операций и является весьма трудоемкой.

Поэтому во многих случаях применяют неметаллические материалы. Их обычно подразделяют на полимеры (пластмассы), керамики и стекла, о чем говорилось на первой лекции.

7.6.2 Полимеры или пластмассы

Пластмассы – искусственные твердые материалы, получаемые на основе органических полимерных связующих веществ. Имеют большую молекулярную массу (свыше 10 000).

Состав пластмасс

1) Связующее – обязательный компонент. Это синтетические смолы или эфиры. Простые пластмассы (органическое стекло, полиэтилен, полипропилен) состоят почти из одного связующего;

2) Наполнители. Их содержание может достигать до 70 %. Могут быть порошковыми (сажа, графит, тальк, древесная мука), волокнистыми (хлопковые, стеклянные, асбестовые волокна), листовыми (бумага, ткани, древесный шпон). Наполнители повышают механическую прочность, снижают стоимость пластмасс и придают им нужные эксплуатационные свойства;

3) Стабилизаторы. Они нужны, чтобы макромолекулы полимеров не изменяли свою пространственную структуру, и свойства пластмасс с течением времени не менялись;

4) Пластификаторы. Их добавляют в количестве до 20 %. Они улучшают формуемость пластмасс, снижают хрупкость. Это обычно олеиновая кислота, стеарин;

5) Отвердители. Их добавляют в пластмассы на основе терморезактивных смол в качестве катализаторов отверждения. Это органические перекиси;

6) Специальные добавки – красители, смазки, антистатики,

добавки против горения, против плесени и др.

7.6.3 Свойства пластмасс

Достоинствами пластмасс по сравнению с другими конструкционными материалами являются:

- малая плотность;
- высокая удельная прочность; химическая стойкость; электроизоляционные свойства; теплоизоляционные свойства;
- меньшая трудоемкость переработки пластмасс по сравнению с переработкой металлов: изделие и материал создаются одновременно;
- меньшее количество отходов, чем при переработке металлов (коэффициент полезного использования материала не менее 0,9);
- как правило, не нужны отделочные операции.

При замене металлических деталей пластмассовыми масса снижается в 4–5 раз, трудоемкость уменьшается тоже в 4–5 раз, число операций уменьшается в 5–6 раз. Себестоимость снижается в 2–3 раза.

Основные недостатки пластмасс:

- ограниченная теплостойкость: максимальная температура эксплуатации термопластов 250⁰С (фторопласт 4), а термореактивных пластмасс – около 400⁰С (стеклотекстолит);
- малая жёсткость и вязкость;
- склонность к старению, т.е. к изменению свойств с течением времени.

Пластмассы широко применяются в различных отраслях промышленности в основном в качестве конструкционных и электроизоляционных материалов. По сравнению металлическими материалами переработка пластмасс в изделия менее трудоемка и малоотходна.

Пластмассы – материалы на основе полимеров. Полимеры – макромолекулярные соединения, молекулы которых состоят из большого числа повторяющихся атомных групп – звеньев. Звенья образуются из простых молекул исходного низкомолекулярного вещества – мономера. Для этого молекулы мономера «активизируют» создают в них свободные валентные связи путем внешнего воздействия (повышенная температура и давление).

Пластмассы могут состоять только из самого полимера либо содержать различные компоненты, в этом случае они являются композиционными материалами (композитами). Компонентами таких пластмасс могут быть наполнители, отвердители, стабилизаторы, красители, пластификаторы и другие специальные добавки. В композиционных пластмассах полимер играет роль связующего.

Очевидно, что свойства пластмасс зависят от химической природы и вида наполнителя. Так, в композитах с одинаковым типом связующего полимера наблюдается увеличение прочности при переходе от материалов с порошкообразными наполнителями (пресс-порошки) к волокнистым (наполнитель - волокна) и далее к слоистым пластикам (листовой наполнитель).

Однако основное влияние на свойства пластмасс и соответственно технологию их переработки в изделия оказывает природа полимера.

По этому признаку различают два основных класса пластмасс: термопласты (основа – термопластичные полимеры) и реактопласты (основа – термореактивные полимеры).

Термопластичные полимеры имеют линейную, или близкую к ней - разветвленную структуру (форму) макромолекул. В таких макромолекулах звенья соединены сильными ковалентными связями, а между цепями действуют гораздо более слабые силы Ван-дер-Ваальса. Вследствие такого характера связей термопластичные полимеры при нагревании переходят из стеклообразного в высокоэластичное и далее вязкотекучее состояние. При этом не происходит разрушения макромолекул (если температура не превысила температуру деструкции). Последующее охлаждение изменяет состояние полимера в обратном порядке, его структура и свойства полностью восстанавливаются.

В отличие от термопластичных, термореактивные полимеры в отвержденном состоянии имеют замкнутую пространственную (сетчатую) структуру. В таких структурах сильные ковалентные связи действуют как вдоль цепей молекул, так и между ними. Эти полимеры более прочны и их свойства практически не изменяются при нагревании вплоть до температуры деструкции. Обычно термопласты – простые (ненаполненные) пластмассы (полиэтилен, полистирол, поливинилхлорид, полиметилметакрилат и др.), реактопласты – композиционные материалы (фенопласты, стекловолокнит, гетинакс, текстолит, древесно-слоистые пластики и др.).

Изделия из пластмасс получают главным образом методами пластической деформации. Применение конкретного способа переработки зависит от физического состояния полимерной основы, которое может изменяться под действием нагрева и других факторов.

В большинстве случаев детали изготавливают из пластмасс, находящихся в вязкотекучем состоянии, путем прямого

(компрессионного) прессования, литья под давлением и экструзии (выдавливания).

Прямое прессование применяют в основном для получения изделий из реактопластов, реже термопластов. Формование производится в пресс-формах при температурах 130...200 °С.

Исходный пресс-материал загружают в виде порошка или таблеток в полость формы. Под действием давления, создаваемого пуансоном, и теплоты материал в вязкотекучем состоянии заполняет формообразующую полость пресс-формы. После затвердевания изделие извлекается (выталкивается) из формы.

Основным компонентом пресс-материалов термореактивных пластмасс являются связующие вещества – смолы: фенолоформальдегидная (бакелитовая), меламиноформальдегидная (карбамидная), эпоксидная и другие. В исходном состоянии (в пресс-материале) смолы - полимеры с линейной структурой.

Помимо смол в композиции пресс-материала присутствуют дисперсные наполнители различной природы, отвердители другие компоненты. Повышенная температура и наличие отвердителей создают в процессе формования изделия пространственную сетчатую структуру композиционного материала. То есть такой способ производства совмещает процесс создания материала и формообразования изделия.

Детали из реактопластов после отверждения можно извлекать сразу, не охлаждая. В случае прессования деталей из термопластов пресс-форму нужно обязательно охлаждать для сохранения формы изделия (перевода полимера из вязкотекучего в стеклообразное состояние), что осложняет процесс и ограничивает применение данного способа для производства деталей из термопластов. Массовое производство деталей из термопластов осуществляют в основном литьем под давлением и экструзией.

Если формование деталей из термореактивных пластмасс происходит при нагревании исходной композиции, то такой способ называется горячим прессованием. Он применяется для пластмасс горячего отверждения, в которых замкнутая пространственная структура полимера образуется при повышенных температурах.

В качестве конструкционных материалов применяют также пластмассы холодного отверждения («самотвердеющие») на основе эпоксидных, полиэфирных, акриловых и других смол. Они отверждаются при комнатной температуре в результате воздействия отвердителя. Изделия из них можно изготавливать в формах путем свободной заливки, намазывания, накатывания и т.п.

В последнее время для изготовления мелких изделий широкое распространение получили холоднотвердеющие акриловые пластмассы: АСТ, стиракрил, протокрил, норакрил, акрилоксид и др. В исходном состоянии все они состоят из полимерного порошка и жидкого отвердителя, которые хранятся раздельно. После смешивания этих компонентов массу помещают в форму, где она отверждается через 10...60 минут в зависимости от марки (состава) пластмассы.

7.7 Керамические материалы

Керамика – неорганические твердые материалы, получаемые высокотемпературным обжигом из отформованных минеральных масс. Можно сказать, что керамика – это все материалы, не являющиеся полимерами и металлами. В керамических материалах между атомами существует ковалентная или ионная связь.

Для получения керамики имеется огромное количество природных соединений; они составляют до 85 % земной коры. Только на долю кремния приходится около 40 %.

7.7.1 Структура керамики

Основа строительной, бытовой и художественной керамики – природные глины. Техническая керамика имеет более однородный состав, изготавливается из оксидов или безоксидных соединений.

Керамика всегда многофазна: она содержит кристаллическую, стекловидную и газовую фазы в различных пропорциях. Кристаллическая фаза представляет собой химические соединения или твердые растворы. Она является основной и определяет прочность, жаропрочность и другие важнейшие свойства керамики. Стекловидная, или аморфная фаза – это связка; ее количество может колебаться в широких пределах: от 1 до 40 %. Она снижает прочность и термостойкость, но облегчает технологию производства.

Газовая фаза находится в порах керамики. По доле пор в объеме материала керамика делится на пористую и плотную. В технике чаще используется плотная керамика. Но и она содержит определенную долю пор.

7.7.2 Свойства керамики

Достоинствами керамики являются:

- а) высокая твердость и износостойкость;
- б) высокие рабочие температуры (до 3500 С);
- в) высокая коррозионная стойкость в различных средах;
- г) низкая тепло- и электропроводимость: керамические материалы

- д) диэлектрики и теплоизоляторы;
- е) малая плотность, легкие материалы.

Основной недостаток керамики:

а) высокая хрупкость. Ударная вязкость керамики примерно в 40 раз меньше, чем у металлов. Это ограничивает ее применение в технике. Керамика имеет низкую прочность при растяжении и изгибе. Пластически не деформируется;

б) высокие твердость и температуры плавления керамических материалов обусловлены большой энергией связи между атомами. Это ковалентные или ионные соединения. Сильная межатомная связь определяет высокое сопротивление деформации, поэтому специальной упрочняющей обработки для керамики не требуется.

Для повышения ударной вязкости керамики применяют различные способы. Прежде всего, в керамическом материале должно быть как можно меньше пор, являющихся зародышами трещин. На сегодняшний день разработаны следующие основные способы увеличения вязкости керамики:

- легирование или модифицирование,
- упрочнение дисперсными частицами,
- упрочнение нитевидными кристаллами более прочной керамики,
- «затупление» трещины за счет создания множества микротрещин, тогда магистральная трещина не развивается.

7.7.3 Классификация и применение керамики

Техническую керамику можно подразделить на три группы: оксидную, безоксидную (бескислородную) и металлокерамику.

1) Оксидную керамику получают из оксидов различных элементов: Al, Mg, Zr, Si, Be, U. Она состоит в основном из кристаллической фазы и пор. Стекловидная фаза появляется только за счет примесей.

Оксидная керамика твердая, огнеупорная, химически стойкая в кислотах, щелочах, на воздухе. Рабочие температуры составляют 0,8–0,9 от температур плавления (от 2000 до 3300 С). Но резких изменений температуры она не выдерживает.

Пористая керамика этой группы применяется как теплоизоляционный материал и огнеупорная футеровка камер сгорания, металлургических печей и ковшей (динасовый, магнезитовый, шамотный кирпич). Из пористой керамики делают также фильтры для различных жидкостей (воды, масла).

Керамику на основе оксида алюминия Al_2O_3 называют корундовой.

2) Бескислородная (безоксидная) керамика. Это тугоплавкие

соединения, их огнеупорность достигает 3500 С. Твердость приближается к твердости алмаза. Они обладают высокой износостойкостью и жаростойкостью.

Карборунд SiC – твердый, химически стойкий, легкий, жаростойкий материал. Из него делают шлифовальные круги, нагреватели печей, лопатки газовых турбин и т.д.

3) Керамико-металлические материалы, или керметы, получают путем перемешивания порошков тугоплавкого керамического соединения и металла. Затем смесь порошков прессуется и спекается. Металл играет роль связки; он повышает пластичность и вязкость. В качестве связок используются кобальт, никель, железо, молибден. Керамическая составляющая может быть как оксидной, так и бескислородной.

Широко применяемые керамико-металлические материалы – это инструментальные твердые сплавы. Из них делают режущие пластины для фрез, сверл, зенкеров, резцов, а также штампы и т.д. Они состоят из карбидов WC, TiC, TaC и кобальтовой связки.

7.8 Наноматериалы

Наноматериалы – материалы, содержащие структурные элементы, геометрические размеры которых хотя бы в одном измерении не превышают 100 нм, и обладающие качественно новыми свойствами и эксплуатационными характеристиками.

К таким материалам можно отнести наноразмерные частицы (нанопорошки), нанопроволоки и нановолокна, очень тонкие пленки (толщиной менее 100 нм), нанотрубки и т. п. Такие материалы могут содержать от одного структурного элемента или кристаллита (для частиц порошка) до нескольких их слоев (для пленки).

Для наночастиц доля атомов, находящихся в тонком поверхностном слое (толщиной порядка 1 нм), по сравнению с микрочастицами (обычными зернами) заметно возрастает. У поверхностных атомов, в отличие от атомов, находящихся в объеме твердого тела, задействованы не все связи с соседями. В результате в приповерхностном слое возникают сильные искажения кристаллической решетки, и даже может происходить смена типа решетки. Кроме того, свободная поверхность является стоком бесконечной емкости для точечных и линейных кристаллических дефектов (в первую очередь вакансий и дислокаций). При малых размерах частиц это приводит к выходу большинства структурных дефектов на поверхность и очистке материала наночастицы от дефектов структуры и химических примесей. Установлено, что

процессы деформации и разрушения протекают в тонком приповерхностном слое с опережением по сравнению с внутренними объемами металлического материала. В наночастицах же весь материал работает как приповерхностный слой, толщина которого оценивается величиной 0,5–20 мкм.

Из этого следует, что закономерности, характерные для микроструктурных объектов, не соблюдаются при переходе к наноразмерным частицам. Изучение и использование необычных свойств наноматериалов является важнейшей задачей современного материаловедения.

Основная задача нанотехнологии – трёхмерное манипулирование химически активными веществами с целью создания молекул или кластеров и их объединения в более крупные устройства и материалы. Для достижения этой цели необходимо найти такое сочетание методов химического синтеза и инженерного проектирования, которое позволило бы контролировать положение частиц на молекулярном уровне.

Вопросы для самопроверки

1. Какое строение имеют композиционные материалы?
2. Как подразделяют композиционные материалы в зависимости от материалов составляющих их компонентов?
3. Свойства и области применения пластмасс.
4. Что конкретно означает приставка «нано»?
5. Почему улучшаются свойства конструкционных материалов с нанокристаллическими структурами по сравнению с традиционными конструкционными материалами?
6. Какие диагностические средства применяются при создании наноструктурированных материалов?
7. Что включает в себя прикладная наука о наносистемах?
8. Как образуются наночастицы в природе?
9. Как классифицируют наноматериалы?
10. На чём основывается моделирование в нанотехнологии?

Глоссарий

Азотирование – вид химико-термической обработки сплавов, заключающийся в диффузионном насыщении азотом поверхностного слоя изделий.

Аллотропия (полиморфизм) – см. Полиморфизм.

Анизотропия – неодинаковость свойств (физических, механических) материала при измерении их в различных направлениях.

Аустенит – кристаллическая фаза в железоуглеродистых сплавах - твердый раствор углерода в γ – Fe, содержащий до 2,14 % C, имеющий ГЦК решетку (см. полиморфизм железа).

Аустенит остаточный – см. Остаточный аустенит.

Баббиты – антифрикционные (подшипниковые) сплавы на основе олова или свинца с добавками сурьмы, кальция, меди и других элементов, используемые для заливки вкладышей подшипников скольжения.

Бейнит – структурная составляющая стали, образующаяся при промежуточном превращении аустенита и состоящая из пересыщенного углеродом феррита и цементита.

Бронзы – сплавы на основе меди, в которых основными легирующими компонентами являются различные элементы кроме цинка. По основному легирующему элементу различают оловянные и безоловянные (алюминиевые, кремниевые, бериллиевые и др.) бронзы.

Вакансия – точечный дефект кристаллической решетки – узел решетки, в котором отсутствует атом (или ион).

Волокниты – разновидность композиционных материалов – пластмассы, в которых наполнителем являются волокна различной природы (например, стеклянные, асбестовые).

Дендриты – кристаллы древовидной формы, образующиеся в литом металле в результате неодинаковости скоростей роста по различным кристаллографическим направлениям.

Дефекты кристаллической решетки – отклонения от идеального порядка в расположении атомов в реальных кристаллах. По геометрии возникающих при этом искажений решетки различают точечные, линейные и поверхностные дефекты.

Дефекты линейные – см. Дислокации.

Дефекты поверхностные – границы зерен в поликристаллических материалах – двумерные дефекты.

Дефекты точечные – вакансии, атомы, смещенные в междоузлия, и примесные атомы в узлах или междоузлиях. Радиус искажений решетки вокруг таких дефектов составляет всего 1...2 межатомных расстояния, поэтому точечные дефекты считаются нульмерными.

Деформация – изменение размеров и часто формы тела под действием внешних усилий.

Деформация пластическая – необратимая или остаточная деформация, частично или полностью сохраняющаяся после снятия нагрузки.

Деформация упругая – обратимая деформация, полностью исчезающая при снятии нагрузки.

Диаграмма изотермического превращения переохлажденного аустенита – (С – диаграмма) – графическое изображение зависимости времени начала и конца распада *переохлажденного аустенита* (на смесь *феррита и цемента*) от температуры изотермического выдержек.

Диаграмма состояния «Железо-цементит» - *диаграмма состояния* железоуглеродистых сплавов, *компонентами* которой являются железо и цементит; с ее помощью изучается формирование равновесной структуры **углеродистых сталей и белых чугунов**.

Диаграмма состояния (диаграмма фазового равновесия) – графическая форма описания фазовых равновесий (состояний) в сплавах различного *химического состава* при различных температурах.

Дислокация – линейный (одномерный) *дефект кристаллической решетки*. Например, краевая дислокация – это искажение решетки вокруг края незавершенной атомной плоскости («полуплоскости») радиусом в несколько межатомных расстояний и на много порядков большей протяженностью.

Диффузия – в кристаллических материалах это перемещение атомов на расстояния, существенно превышающие межатомные.

Долговечность – свойство объекта (материала, изделия) сохранять работоспособное состояние при заданных условиях в течение определенного времени. Критерии долговечности – сопротивление материала *усталости, изнашиванию, ползучести, коррозии*.

Дуралюмины – сплавы алюминия (основа) с медью, магнием и марганцем; относятся к группе деформируемых сплавов, упрочняемых термической обработкой (*закалка + старение*).

Закаливаемость – способность стали повышать твердость в результате

закалки; пропорциональна содержанию углерода в стали.

Закалка – *термическая обработка*, заключающаяся в нагреве сплава выше температуры фазовых превращений, выдержке и последующем быстром охлаждении, обеспечивающая получение неравновесной структуры (кратко – фиксация высокотемпературного состояния путем быстрого охлаждения материала).

Закалка стали – нагрев стали до аустенитного состояния, выдержка и последующее ускоренное охлаждение с *критической скоростью* с целью максимального повышения твердости и прочности.

Закалка неполная – *закалка стали* из двухфазного состояния, то есть из межкритического температурного интервала $A_1 - A_3$ в *доэвтектоидных* и $A_1 - A_{cm}$ в *заэвтектоидных* сталях. Обычно применяется для заэвтектоидных сталей для получения мартенситной структуры с включениями вторичных карбидов (*цементита*).

Закалка полная – *закалка стали* из однофазного аустенитного состояния, приводящая к получению мартенситной структуры; применяется для *доэвтектоидных сталей*.

Зоны Гинье - Престона (ГП зоны) – субмикроскопические зоны искажений кристаллической решетки твердого раствора вокруг скоплений атомов растворенного компонента. В *дуралюминах* ГП зоны, возникающие в закаленном сплаве при *естественном старении*, являются причиной эффективного повышения прочности.

Излом – поверхность разрушения образца или изделия.

Излом вязкий (волокнуистый) – поверхность вязкого разрушения с характерной волокнистой структурой и матовым оттенком, обычно имеет неровную форму (выступы, впадины). Все эти признаки – следствие заметной *пластической деформации*, предшествовавшей разрушению.

Излом хрупкий (кристаллический) – излом без видимых следов *пластической деформации*; имеет зернистый рельеф, состоящий из множества блестящих граней (фасеток), образующихся при хрупком разрушении по границам зерен или плоскостям скола внутри зерна.

Изнашивание – процесс постепенного изменения размеров тела при трении, проявляющийся в отделении материала с поверхности трения и *остаточной деформации тела*.

Индентор – съемный наконечник *твердомеров*, имеющий определенные размеры и форму (шар, пирамида, конус), изготавливаемый из материалов с высокой твердостью (алмаз, твердый сплав, закаленная сталь).

Композиционные материалы (композиты) – материалы, состоящие из металлической или неметаллической матрицы (основы), включающей не растворимые в ней компоненты различной природы и формы; например, *терморезактивные пластмассы*.

Компоненты – вещества (химические элементы, химические соединения), входящие в состав *сплава*.

Координационное число – число ближайших соседей, окружающих данный атом *в кристаллической решетке* и находящихся от него на одинаковых расстояниях.

Коррозия – самопроизвольное разрушение металлических материалов вследствие химического или электрохимического взаимодействия их с окружающей средой.

Коррозия межкристаллитная (МКК) – хрупкое коррозионное разрушение по границам зерен (кристаллов), возникающее из-за электрохимической неоднородности пограничных областей и самого зерна.

Кристаллизация – процесс образования кристаллов из жидкой (или газообразной) фазы.

Кристаллическая решетка – воображаемая пространственная (трехмерная) периодическая решетка, в узлах которой находятся атомы (ионы) кристаллического тела (точнее *монокристалла*).

Критический диаметр – максимальный диаметр образца данной стали, приобретающего мартенситную структуру по всему сечению при *закалке* с данной скоростью охлаждения.

Критическая скорость закалки – минимальная скорость охлаждения из высокотемпературного состояния, при которой подавляется диффузионный распад *твердого раствора*. В сталях критическая скорость закалки – минимальная скорость охлаждения, при которой *аустенит* превращается в *мартенсит*.

Латуни – сплавы на основе меди, содержащие до 45 % цинка (простые или двойные латуни), и дополнительно легированные алюминием, оловом, марганцем и др. элементами (сложные многокомпонентные латуни).

Легирование – целенаправленное изменение состава сплава путем введения в определенных количествах некоторых химических (легирующих) элементов.

Ликвидус – линии *диаграмм состояния*, выше которых сплав любого химического состава находится в жидком состоянии. При охлаждении ниже линии ликвидус начинается кристаллизация сплавов.

Макромолекулы – молекулы, состоящие из огромного числа ($\geq 10^3$) одинаковых (или различных) групп атомов – звеньев, получающихся из простых по составу молекул – *мономеров*. Молекулярная масса макромолекул более $10^4 \dots 10^5$.

Макроструктура – структура материалов, изучаемая путем макроанализа – осмотра невооруженным глазом или с помощью лупы изделий (заготовок), изломов деталей или контрольных образцов и специально приготовленных образцов – макрошлифов.

Мартенсит (закалки) – в сталях пересыщенный *твердый раствор* углерода в α – железе (см. *поллиморфизм железа*), образующийся в результате *мартенситного превращения аустенита при закалке*.

Мартенсит отпуска – мартенсит, получаемый при *низком отпуске* закаленной стали; от мартенсита закалки отличается меньшей *степенью тетрагональности* и твердостью.

Мартенситное превращение – в сталях бездиффузионное превращение переохлажденного аустенита в мартенсит, происходящее при охлаждении стали из аустенитного состояния с *критической скоростью закалки*.

Механические свойства – свойства, характеризующие поведение материала под действием внешней механической нагрузки. Наиболее распространенные из них – *прочность, твердость, пластичность и ударная вязкость*, определяемые в результате стандартных механических испытаний.

Микроскоп металлографический : – наиболее распространенный в лабораторной практике оптический микроскоп, позволяющий изучать *микроструктуру* не прозрачных в видимом свете материалов с увеличением до 1500 раз.

Микроструктура – структура материалов, изучаемая с помощью *микроскопов*; включает тип *фаз*, форму, размеры и взаимное расположение кристаллов этих фаз.

Модифицирование – введение в расплав небольшого количества специальных примесей (модификаторов) с целью

улучшения структуры литого металла. Широко применяется при получении *модифицированных и высокопрочных чугунов и силуминов*.

Монокристалл – образец материала, состоящий из одного кристалла (в отличие от *поликристаллических материалов*).

Мономеры – простые вещества, молекулы которых в результате активизации (при высоких температурах и давлении) образуют звенья со свободными ковалентными связями, формирующие *макромолекулы полимеров*.

Надежность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения. Критерии надежности материалов: *пластичность, ударная вязкость, хладостойкость, трещиностойкость*.

Наклеп (нагартовка) – упрочнение металла в результате *холодной пластической деформации*.

Напряжение (механическое) – мера внутренних сил, возникающих в теле под влиянием внешней нагрузки, равная отношению действующей силы к площади ее приложения.

Нитроцементация – вид *химико-термической обработки*, заключающийся в поверхностном насыщении изделий одновременно азотом и углеродом. **Нормализация** – *термическая обработка*, заключающаяся в нагреве стали (чугуна) до аустенитного состояния, выдержке и охлаждении на спокойном воздухе.

Обработка холодом – охлаждение закаленной стали до отрицательных температур (по возможности ниже температуры M_K – конца мартенситного превращения) с целью устранения *остаточного аустенита*.

Остаточный аустенит – *аустенит*, не превратившийся в *мартенсит* при *закалке стали*, если температура конца мартенситного превращения данной стали лежит ниже температуры охлаждающей среды.

Отжиг – *термическая обработка*, заключающаяся в нагреве сплава выше температур фазовых превращений, выдержке и последующем медленном охлаждении (обычно с печью), приводящая к получению равновесной структуры.

Отжиг рекристаллизационный – отжиг холоднотемпературнодеформированного металла при температурах выше *температуры рекристаллизации*, приводящий к снятию *наклепа*.

Отжиг (стали) полный – нагрев, выдержка и медленное охлаждение стали из однофазного аустенитного состояния.

Применяется для *доэвтектоидных сталей*, приводит к получению равновесной структуры (феррит + перлит) с минимальной твердостью и наилучшей обрабатываемостью.

Отжиг стали (неполный) – нагрев, выдержка и медленное охлаждение стали из межкритического интервала температур (двухфазного состояния); обычно применяют для заэвтектоидных сталей, нагревая их выше A_{c1} , но ниже A_{cm} и, после выдержки, очень медленно охлаждая, для получения структуры *зернистого перлита* (такой отжиг называют сфероидизирующим). Цель – снижение твердости, улучшение обрабатываемости резанием.

Относительное сужение – характеристика *пластичности*; отношение разности площадей исходного и деформированного сечений образца к площади исходного сечения, выраженное в процентах.

Относительное удлинение – характеристика *пластичности*; отношение абсолютного удлинения образца при растяжении к его начальной длине, выраженное в процентах.

Отпуск (стали) – *термическая обработка*, заключающаяся в нагреве закаленной стали в докритическом интервале температур ($t < A_1 = 727$ °C), выдержке и последующем охлаждении с целью повышения пластичности и ударной вязкости закаленной стали. Отпуск формирует окончательную структуру и комплекс требуемых механических свойств после *упрочняющей термической обработки стали*.

Отпуск высокий – отпуск при t 600 °C на структуру *сорбит отпуска*; максимально повышает *пластичность и ударную вязкость* закаленной стали.

Отпуск низкий – отпуск при t 200 °C на структуру *мартенсит отпуска*; свойства незначительно изменяются, сохраняется высокая твердость.

Отпуск средний – отпуск при t 400 °C на структуру *троостит отпуска*; заметно снижаются *твердость и прочность*, повышаются *пластичность и ударная вязкость* закаленной стали.

Переохлаждение – охлаждение какой-либо *фазы* ниже температуры ее равновесного существования (например, расплава ниже температуры кристаллизации), приводящее ее в неустойчивое, метастабильное состояние.

Переохлажденный аустенит – метастабильный *аустенит*, быстро охлажденный ниже температуры $A_1 = 727$ °C; существует

ограниченное время, определяемое *диаграммой изотермического превращения переохлажденного аустенита*.

Период (параметр решетки) – расстояние между соседними узлами *кристаллической решетки* вдоль ее координатных осей. В кубических решетках он один – ребро куба, в общем случае решетки должны характеризоваться тремя периодами.

Перлит – основная структурная составляющая *углеродистых сталей* в равновесном состоянии; состоит из чередующихся тонких пластинок (кристаллов) *феррита и цементита*.

Перлит зернистый – перлит с зернистой формой цементита, получаемый *при неполном сфероидизирующем отжиге* заэвтектоидных (и эвтектоидных) сталей.

Перлитное превращение – *эвтектоидное превращение* в железоуглеродистых сплавах, происходящее при охлаждении *аустенита* ниже температуры $A_1 = 727^{\circ}\text{C}$ и заключающееся в его диффузионном распаде на смесь *феррита и цементита*.

Пластичность – *механическое свойство*, характеризующее способность материала пластически деформироваться без разрушения. Оценивается величиной *относительного удлинения и относительного сужения*.

Пластмассы – материалы на основе *синтетических органических полимеров*. Пластмассы могут быть простыми (ненаполненными), состоящими только из полимера (например, полиэтилен), либо *композиционными материалами*, содержащими наполнители (например, гетинакс, текстолит), в которых полимер играет роль связующего вещества.

Пластмассы термопластичные (термопласты) – пластмассы на основе *термопластичных полимеров* (полиэтилен, полистирол, поливинилхлорид и т.п.); обычно простые ненаполненные материалы.

Пластмассы термореактивные (реактопласты) – пластмассы на основе *термореактивных полимеров*; обычно наполненные материалы, по виду наполнителя подразделяющиеся на *пресс-порошки, волокниты и слоистые пластики*.

Ползучесть – медленная непрерывная *пластическая деформация* материала под действием постоянного *напряжения* (нагрузки).

Поликристаллический материал – материал, состоящий из множества зерен (кристаллитов), кристаллические решетки которых обычно хаотически ориентированы в объеме материала. Такое строение имеют все промышленные металлические сплавы.

Полимеризация – реакция присоединения активизированных *мономеров* (звеньев), приводящая к образованию *макромолекул полимеров*.

Полимеры – вещества, состоящие из *макромолекул*.

Полимеры термопластичные – полимеры с линейной структурой (формой) макромолекул; при нагревании последовательно переходят из стеклообразного в высокоэластичное и далее – вязкотекучее состояние; при последующем охлаждении процесс обратим.

Полимеры терморезистивные – полимеры с замкнутой пространственной (сетчатой) структурой (формой) *макромолекул*. В готовом материале могут находиться только в стеклообразном состоянии. По сравнению с *термопластичными полимерами* более прочны и не обладают эластичностью.

Полимеры синтетические органические – синтезированные (в отличие от природных) полимеры, главная связь в *макромолекулах* которых осуществляется через атомы углерода.

Полиморфизм (аллотропия) – способность ряда кристаллических веществ находиться в различных модификациях, т.е. менять тип кристаллической решетки при изменении температуры и (или) давления.

Полиморфизм железа – в интервале температур 0...911 °С существует низкотемпературная модификация (α – Fe или Fe α), имеющая ОЦК решетку, в интервале 911...1392 °С – высокотемпературная модификация (γ – Fe или Fe γ) с ГЦК решеткой.

Предел прочности (временное сопротивление), σ_B – характеристика *прочности*; максимальное *напряжение*, которое выдерживает образец до разрушения при испытаниях на растяжение.

Предел текучести, $\sigma_{0,2}$ – одна из характеристик *прочности*; *напряжение*, при котором величина остаточной *пластической деформации* при испытаниях на растяжение составляет 0,2 %.

Предел упругости σ_u – один из критериев *прочности*, характеризующий сопротивление материала упругой деформации – максимальное *напряжение*, при котором наблюдается чисто *упругая деформация*.

Пресс – порошки – пластмассы (обычно *терморезистивные*) с порошкообразными наполнителями (древесная, кварцевая мука, тальк и т.п.).

Прокаливаемость – способность стали закаливаться, т.е. приобретать *мартенситную* структуру на определенную глубину. Оценивается величиной *критического диаметра*; зависит от химического состава стали, повышается путем *легирования*.

Прочность – *механическое свойство*, характеризующее сопротивление материала деформации и разрушению; наиболее распространенными критериями прочности являются *пределы текучести ($\sigma_{0,2}$)* и *прочности (σ_B)*, определяемые путем стандартных испытаний образцов на растяжение, а также *твердость*.

Прочность конструкционная – прочность материала при работе в готовой конструкции; комплексная характеристика, включающая критерии *прочности, надежности и долговечности*.

Работоспособность – состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией.

Рекристаллизация – процесс зарождения и роста новых равноосных зерен в деформированном металле, происходящий при температуре выше *температуры (порога) рекристаллизации* и приводящий в итоге к восстановлению свойств, присущих недеформированному металлу.

Силумин – литейный сплав на основе алюминия, содержащий 4...13% кремния.

Слоистые пластики – композиционные *пластмассы* с листовыми (слоистыми) наполнителями (бумага, хлопчатобумажные и стеклоткани).

Солидус – линии *диаграмм состояния*, при охлаждении ниже которых любой сплав находится в твердом состоянии; при нагревании выше солидуса начинается плавление сплавов.

Сорбит – дисперсная смесь *феррита и цементита*, получающаяся при ускоренном охлаждении аустенита (*сорбит закалки*) или высоком отпуске (*сорбит отпуска*) стали.

Сорбит закалки – феррито-цементитная смесь, получаемая в результате *перлитного превращения переохлажденного аустенита* в интервале температур 550...650 °С; подобно *перлиту* имеет пластинчатое (феррит + цементит) строение, но отличается большей дисперсностью и твердостью.

Сорбит отпуска – феррито-цементитная смесь, получаемая в результате *высокого отпуска* закаленной стали, имеет зернистую форму цементита; по сравнению с *сорбитом закалки* отличается более высокой *пластичностью и ударной вязкостью*.

Сплав – материал, получаемый сплавлением (или спеканием) двух или более *компонентов*.

Стали – сплавы на основе железа, содержащие от 0,02 до 2,14 % углерода (*углеродистые стали*), а также другие легирующие элементы (*легируемые стали*).

Сталь аустенитная (аустенитного класса) – высоколегируемые (в основном никелем и (или) марганцем) стали, имеющие при нормальных температурах устойчивую аустенитную структуру.

Сталь доэвтектоидная – стали, содержащие 0,02... 0,8 % С, имеющие равновесную структуру *феррит + перлит* в соответствии с *диаграммой состояния "Железо – цементит"*.

Сталь заэвтектоидная – стали, содержащие 0,8...2,14 % С, имеющие равновесную структуру *перлит + цементит вторичный* в соответствии с *диаграммой "Железо – цементит"*.

Сталь легируемая – стали, получаемые в результате *легирувания*; помимо железа и углерода в их химическом составе содержится не менее одного легирующего элемента.

Сталь мартенситная (мартенситного класса) – *легируемые стали*, имеющие после *нормализации мартенситную* структуру.

Сталь перлитная (перлитного класса) – *углеродистые или легируемые стали*, основной структурной составляющей которых после *нормализации* является *перлит*.

Сталь углеродистая – стали, в отличие от *легируемых* не содержащие специально введенных легирующих элементов.

Сталь ферритная (ферритного класса) – высоколегируемые (хромом) стали, имеющие ферритную структуру.

Сталь эвтектоидная – сталь, содержащая 0,8 % С, имеющая в равновесном состоянии структуру – *перлит*, согласно диаграмме *"Железо – цементит"*.

Старение – длительная выдержка закаленного сплава при комнатной (естественное старение) или повышенной температуре (искусственное старение); завершающий этап *упрочняющей термической обработки* сплавов типа *дуралюмин*.

Старение полимеров – необратимое изменение структуры и ухудшение физико-механических свойств *полимеров* при их длительном использовании под влиянием внешних воздействий.

Степень тетрагональности – отношение *c/a* – вертикального и горизонтального ребер элементарной ячейки, характеризующее степень пересыщения тетрагональной решетки *мартенсита* углеродом.

Технологические свойства – свойства, обеспечивающие "технологичность материала" – его пригодность для изготовления изделий с наименьшей трудоемкостью, – это обрабатываемость резанием, давлением, свариваемость, способность к литью, а также *прокаливаемость*.

Твердомер – прибор для измерения *твердости*.

Твердость – *механическое свойство*, характеризующее способность материала сопротивляться *упругой и пластической деформации* при внедрении в него более твердого тела (*индентора*).

Твердость по Бринеллю (НВ) – твердость, определяемая как отношение нагрузки при вдавливании *индентора* – закаленного стального шарика (обычно = 10 мм) в испытуемый материал к площади поверхности полученного отпечатка.

Твердость по Виккерсу (HV) – твердость, определяемая как отношение нагрузки при вдавливании в испытуемый материал *индентора* – алмазной четырехгранной пирамидки с углом между гранями 136° к площади поверхности полученного отпечатка.

Твердость по Роквеллу – твердость, определяемая глубиной проникновения в испытуемый материал *индентора* – стального закаленного шарика диаметром 1,6 мм (*HRB*) или алмазного конуса (*HRC*) под действием заданной нагрузки.

Твердый раствор – кристаллическая *фаза* в сплавах, в которой атомы одного компонента размещены (растворены) в кристаллической решетке другого.

Температура (порог) рекристаллизации – минимальная температура, при которой начинается процесс *рекристаллизации*.

Термическая обработка – технологическая операция, состоящая в нагреве материала до определенной температуры, выдержке и последующем охлаждении с определенной скоростью, с целью желаемого изменения структуры и свойств материала.

Трещиностойкость – способность материала противостоять развитию трещин, характеризуемая величиной вязкости разрушения.

Троостит – смесь *феррита и цементита* высокой степени дисперсности, получаемая при ускоренном охлаждении аустенита (*троостит закалки*) или среднем отпуске (*троостит отпуска*).

Троостит закалки – ферритоцементитная смесь, получаемая в результате *перлитного превращения переохлажденного аустенита* в интервале температур $\approx 450...550^{\circ}\text{C}$; подобно *перлиту* и *сорбиту закалки* имеет пластинчатое строение, но отличается от них наибольшей дисперсностью и твердостью.

Троостит отпуска – ферритоцементитная смесь, получаемая в результате распада *мартенсита* при *среднем отпуске* закаленной стали; цементит при этом имеет мелкозернистую форму.

Ударная вязкость – *механическое свойство*, характеризующее сопротивление материала хрупкому разрушению; определяется отношением работы разрушения при ударном изгибе образца со специальным надрезом к площади его поперечного сечения в месте надреза.

Улучшение – комплексная *термическая обработка*, состоящая из *закалки на мартенсит* и *высокого отпуска* на структуру *сорбит отпуска*.

Упрочняющая термическая обработка алюминиевых сплавов – комплексная *термическая обработка*, состоящая из *закалки* и *старения*.

Упрочняющая термическая обработка стали – комплексная *термическая обработка*, состоящая из *закалки* и *отпуска*, которой подвергаются качественные *углеродистые* и *легированные стали*.

Усталость – процессы постепенного накопления повреждений в материале под действием циклических нагрузок, приводящие к образованию трещин, их развитию и разрушению материала.

Фаза – однородная по *химическому составу*, типу решетки и свойствам часть сплава, отделенная от других частей границей раздела.

Феррит – кристаллическая фаза в железуглеродистых сплавах – *твердый раствор* углерода (до 0,02 % С) в α – Fe, имеющий ОЦК – решетку (см. *полиморфизм железа*).

Химико-термическая обработка (ХТО) – технологический процесс диффузионного насыщения поверхности стальных изделий одним или несколькими элементами при повышенных температурах с целью изменения химического состава, структуры и свойств поверхностного слоя.

Химический состав – процентное содержание химических элементов, присутствующих в материале.

Хладостойкость – способность материала противостоять хладоломкости – охрупчиванию материала при понижении температуры.

Холодная пластическая деформация – пластическое деформирование материала при температурах ниже *температуры рекристаллизации*; приводит к появлению *наклепа*.

Цементит – кристаллическая *фаза* в железуглеродистых сплавах – карбид железа Fe_3C , содержащий 6,67 % С.

Цементит вторичный (ЦП) – цементит, выделяющийся из аустенита при его медленном охлаждении ниже линии A_{cm} диаграммы "Железо-цементит" (в отличие от первичного цементита Ц, образующегося непосредственно из расплава в сплавах, содержащих более 2,14 % С).

Чугуны – сплавы железа с углеродом, содержащие от 2,14 до (теоретически) 6,67 % С.

Чугун белый – чугуны, кристаллизующиеся по диаграмме состояния "Железо – цементит", основной структурной составляющей которых является эвтектика – ледебурит, состоящая при нормальных температурах из перлита и цементита. Из-за большого количества цементита в структуре имеют светлый оттенок излома (отсюда название), очень высокую твердость и хрупкость.

Чугун высокопрочный – разновидность серых чугунов, в которой графит имеет шаровидную (глобулярную) форму, получаемую с помощью модифицирования расплава магнием или церием.

Чугун ковкий – разновидность серых чугунов, в которой графит имеет хлопьевидную форму; получают путем длительного отжига отливок из белого чугуна, в результате которого цементит распадается, выделяя графит хлопьевидной формы.

Чугун серый – разновидность серых чугунов, в которой графит имеет форму длинных заостренных пластин; получают при медленном охлаждении расплава и повышенном содержании графитообразующих элементов – углерода и кремния.

Чугуны серые – общее название чугунов, в которых в отличие от белых чугунов углерод находится не в химически связанном состоянии (в виде цементита), а в свободном – в виде включений графита (они обеспечивают серый оттенок излома и соответственно название таких чугунов). Свойства серых чугунов зависят от формы графитных включений, по этому признаку их делят на собственно серые литейные чугуны, высокопрочные и ковкие.

Эвтектика – структурная составляющая, состоящая из двух фаз, одновременно кристаллизовавшихся в результате эвтектического превращения; эвтектика – ледебурит – основная структурная составляющая белых чугунов.

Эвтектическое превращение – процесс одновременного образования двух кристаллических фаз (эвтектики) из жидкой, происходящий при постоянной температуре и фиксированных составах фаз.

Эвтектоид – структурная составляющая, состоящая из двух фаз, образующаяся в результате *эвтектоидного превращения*; эвтектоид в сталях называется *перлитом*.

Эвтектоидное превращение – процесс распада одной твердой (кристаллической) фазы на две другие (*эвтектоид*), происходящий при постоянной температуре и фиксированных составах фаз. В железоуглеродистых сплавах эвтектоидное (*перлитное*) превращение заключается в распаде аустенита на смесь феррита и цементита(перлит) при t_{A1} (727°C).

Литература

- 1 Дальский А.М. Технология конструкционных материалов. – Москва : «Машиностроение», 2005. – 592 с.
- 2 Гулев А. П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1986. – 506 с.
- 3 Лахтин Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов. – М.: Металлургия, 1985. – 407 с.
- 4 Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учеб. для вузов / Под ред. Ю. П. Солнцева. – М.: МИСИС, 1996. – 575 с.
- 5 Витлин В. Б., Давыдов А. С. Электрофизические методы обработки в металлургическом производстве. – М.: Металлургия, 1979. – 157 с.
- 6 Коваленко В. С. Технология и оборудование электрофизических и электрохимических методов обработки металлов. – Киев: Высшая школа., 1983. – 176 с.
- 7 Порошковая металлургия и нанесение покрытий / Под ред. Б. С. Митина. – М.: Металлургия, 1987. – 792 с.
- 8 Сварка в машиностроении: Справочник в 4-х т. – М.: Машиностроение, 1978, 1979.

Содержание

	Введение	3
1	Конструкционные материалы и их классификация	4
1.1	Свойства материалов	4
1.2	Классификация и маркировка материалов	16
2	Основные стадии процесса получения заготовок и деталей машин	30
2.1	Основы металлургического производства	30
2.2	Получение чугуна	31
2.3	Литейное производство	33
2.4	Литьё в оболочковые формы	39
2.5	Литьё по выплавляемым моделям	40
2.6	Литьё в металлические формы	41
2.7	Литьё под давлением	42
2.8	Центробежное литьё	44
2.9	Дефекты отливок	45
2.10	Обработка металлов давлением	48
2.11	Прокатное производство	52
2.12	Прессование	57
2.13	Волочение	59
2.14	Ковка	61
2.15	Горячая объёмная штамповка	63
2.16	Холодная листовая штамповка	65
2.17	Сварочное производство	69
2.18	Пайка	80
2.19	Обработка металлов резанием	83
2.20	Полирование	89
2.21	Хонингование	89
2.22	Чистовая обработка пластическим деформированием	90
2.23	Электрофизическая и электрохимическая обработка	91
2.24	Электроискровая обработка	91
3	Материаловедение	95
3.1	Металлы, особенности атомно-кристаллического строения	97
3.2	Понятие об изотропии и анизотропии	99
3.3	Аллотропия или полиморфные превращения	101
3.4	Магнитные превращения	101
3.5	Строение реальных металлов. Дефекты кристаллического строения	101
3.6	Простейшие виды дислокаций – краевые и винтовые	103

3.7	Кристаллизация металлов. Методы исследования металлов	106
3.8	Механизм и закономерности кристаллизации металлов	108
3.9	Условия получения мелкозернистой структуры	110
3.10	Строение металлического слитка	110
3.11	Изучение структуры	112
3.12	Физические методы исследования	113
3.13	Общая теория сплавов. Строение, кристаллизация и свойства сплавов. Диаграмма состояния	114
3.14	Классификация сплавов твёрдых растворов	117
3.15	Кристаллизация сплавов	118
3.16	Структуры железоуглеродистых сплавов	119
4	Термическая обработка стали	125
4.1	Виды термической обработки металлов	125
4.2	Превращения, протекающие в структуре стали при нагреве и охлаждении	126
4.3	Механизм основных превращений	128
4.4	Отжиг и нормализация. Назначение и режимы	135
4.5	Закалка	138
4.6	Отпуск	143
4.7	Химико-термическая обработка стали	144
4.8	Азотирование	149
4.9	Цианирование и нитроцементация	150
4.10	Диффузионная металлизация	151
4.11	Методы упрочнения металла. Термомеханическая обработка стали	152
4.12	Поверхностное упрочнение стальных деталей	153
4.13	Закалка токами высокой частоты	154
4.14	Газопламенная закалка	155
4.15	Старение	156
4.16	Обработка стали холодом	157
4.17	Упрочнение методом пластической деформации	157
5	Стали и сплавы с особыми свойствами	160
5.1	Углеродистые стали	160
5.2	Инструментальные стали	167
5.3	Коррозионно-стойкие стали и сплавы. Жаростойкие стали и сплавы. Жаропрочные стали и сплавы	174
6	Цветные металлы и сплавы	180
7	Новые материалы	187
7.1	Композиционные материалы	187
7.2	Материалы порошковой металлургии	192

7.3	Спечённые цветные металлы	195
7.4	Электротехнические порошковые материалы	196
7.5	Магнитные порошковые материалы	197
7.6	Пластмассы	197
7.7	Керамические материалы	202
7.8	Наноматериалы	204
	Глоссарий	206
	Литература	221

Г. Т. Итыбаева, Ж. К. Мусина, А. Ж. Касенов,
С. И. Дервягин, А. И. Денчик

**КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И ТЕРМООБРАБОТКА**

Учебное пособие

Технический редактор З. Ж. Шокубаева
Ответственный секретарь З. С. Исакова

Подписано в печать 21.02.2019 г.

Гарнитура Times.

Формат 60x90/16. Бумага офсетная.

Усл.печ. л 13. Тираж 300 экз.

Заказ № 3361

Издательство «КЕРЕКУ»
Павлодарского государственного университета
им. С. Торайгырова
140008, г. Павлодар, ул. Ломова, 64