

Елена Михайловна Буслаева

Материаловедение. Шпаргалка

ЕЛЕНА МИХАЙЛОВНА БУСЛАЕВА

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. ШПАРГАЛКА

1. Предмет материаловедения; современная классификация материалов, основные этапы развития материаловедения
2. Зеренное строение металлов. Границы зерен и субзерен
3. Световая микроскопия; количественные характеристики микроструктуры
4. Элементарная ячейка; координационное число; сингония
5. Классификация дефектов кристаллического строения. Точечные дефекты, зависимость их концентрации от температуры. Краевая и винтовая дислокации
6. Диффузия в металлах
7. Фазовые переходы I и II рода
8. Плавление металлов и строение расплавов
9. Кристаллизация металлов; зарождение кристаллов, критический зародыш; гомогенное и гетерогенное зарождение кристаллов; рост кристаллов. Кривые Таммана
10. Строение слитка и аморфные сплавы
11. Модифицирование металлов. Стандартные испытания на растяжение, сжатие, изгиб, твердость, ударную вязкость
12. Фазовые превращения в твердом состоянии
13. Упругая и пластическая деформация металлов
14. Виды разрушения: понятия о вязком и хрупком разрушении
15. Электрические свойства проводниковых материалов
16. Методы определения электрических свойств
17. Теплоемкость и теплопроводность металлов и сплавов
18. Дилатометрия. Магнитные свойства металлов и сплавов. Методы определения
19. Значение механических и физических свойств при эксплуатации изделий
- Свойства, как показатели качества материала
20. Типы фаз в металлических сплавах. Правило фаз; правило рычага
21. Твердые растворы замещения и внедрения; промежуточные фазы; сверхструктуры
22. Система с неограниченной растворимостью в жидком и твердом состояниях; системы эвтектического, перитектического и монотектического типа. Системы с полиморфизмом компонентов и эвтектоидным превращением

23. Система с тройной эвтектикой и практически полным отсутствием растворимости компонентов в твердом состоянии; изотермические и политермические сечения
24. Правило рычага и центра тяжести треугольника
25. Зависимость механических и физических свойств от состава в системах различного типа
26. Выбор сплавов для определенного назначения на основе анализа диаграмм состояния
27. Строение и свойства железа; метастабильная и стабильная фазовые диаграммы железо-углерод. Формирование структуры углеродистых сталей. Определение содержания углерода в стали по структуре
28. Конструкционные и инструментальные углеродистые стали. Маркировка, применение
29. Белые, серые, половинчатые, высокопрочные и ковкие чугуны
- Формирование микроструктуры, свойства, маркировка и применение
30. Роль термической обработки в повышении качества конструкционных материалов
31. Применение термообработки в технологии производства заготовок и изделий из конструкционных материалов
32. Отжиг I-го рода. Неравновесная кристаллизация
33. Гомогенизационный отжиг, изменение структуры и свойств при гомогенизационном отжиге. Закалка с полиморфным превращением. Закалка без полиморфного превращения
34. Изменение микроструктуры и механических свойств металлов при нагреве после горячей и холодной обработки давлением
35. Возврат, первичная и собирательная рекристаллизация. Рекристаллизационный отжиг
36. Отжиг II-го рода. Отжиг и нормализация сталей; режимы и назначение отжига и нормализации
37. Отпуск сталей. Превращения в стали при отпуске, изменение микроструктуры и свойств
38. Химико-термическая обработка стали. Назначение, виды и общие закономерности. Диффузионное насыщение сплавов металлами и неметаллами
40. Классификация и маркировка легированных сталей. Влияние легирующих элементов на превращения, микроструктуру и свойства стали; принципы разработки легированных сталей
41. Конструкционные стали: строительные, машиностроительные, высокопрочные. Инструментальные стали: стали для режущего инструмента, подшипниковые, штамповые
42. Нержавеющие, теплостойкие и жаропрочные, хладостойкие, электротехнические и износостойкие стали
43. Маркировка, структура, свойства и области применения цветных металлов и их сплавов
44. Алюминий; влияние примесей на свойства алюминия; деформируемые и литейные алюминиевые сплавы
45. Медь; влияние примесей на свойства меди. Латунь, бронзы, медно-никелевые сплавы
46. Магний и его сплавы
47. Титан и его сплавы
48. Виды композиционных материалов. Строение, свойства, области применения

49. Химический состав, методы получения порошков, свойства и методы их контроля

50. Формование и спекание порошков, области применения

51. Неорганические стекла. Техническая керамика

52. Полимеры, пластмассы

1. Предмет материаловедения; современная классификация материалов, основные этапы развития материаловедения

Материаловедение изучает состав, структуру, свойства и поведение материалов в зависимости от воздействия окружающей среды. Воздействие бывает тепловым, электрическим, магнитным и т. д. Любой компонент конструкций или сооружений подвергается нагрузкам как со стороны других компонентов, так и со стороны внешней среды.

Классификация материалов: металлические, неметаллические и композиционные материалы. Металлические материалы подразделяются на цветные металлы, порошковые материалы. Неметаллические материалы: резина, стекло, керамика, пластические массы, ситаллы. Композиционные материалы являются составными материалами, в состав которых входят два и более материалов (стеклопластики).

Существует классификация материалов в зависимости от вида полуфабрикатов: листы, порошки, гранулы, волокна, профили и т. д.

Техника создания материалов положена в основу классификации по структуре.

Металлические материалы подразделяются на группы в соответствии с тем компонентом, который лежит в их основе. Материалы черной металлургии: сталь, чугуны, ферросплавы, сплавы, в которых основной компонент – железо. Материалы цветной металлургии: алюминий, медь, цинк, свинец, никель, олово.

Основу современной техники составляют металлы и металлические сплавы. Сегодня металлы являются самым универсальным по применению классом материалов. Для того чтобы повысить качество и надежность изделий, требуются новые материалы. Для решения этих проблем применяются композиционные, полимерные, порошковые материалы.

Металлы – вещества, которые обладают ковкостью, блеском, электропроводностью и теплопроводностью. В технике все металлические материалы называют металлами и делят на две группы.

Простые металлы – металлы, которые имеют небольшое количество примесей других металлов.

Сложные металлы – металлы, которые представляют сочетания простого металла как основы с другими элементами.

Три четверти всех элементов в периодической системе являются металлами.

Материаловедение или наука о материалах получила свое развитие с древнейших времен. Первый этап развития материаловедения начинается со специализированного изготовления керамики. Особый вклад в становление материаловедения в России был сделан М.В. Ломоносовым (1711–1765) и Д.И. Менделеевым (1834–1907). Ломоносов разработал курс по физической химии и химической атомистике, подтвердил теорию об атомно-молекулярном строении вещества. Менделееву принадлежит заслуга разработки периодической системы элементов. Оба ученых немалое внимание уделяли проблеме производства стекла.

В XIX в. вклад в развитие материаловедения внесли Ф.Ю. Левинсон-Лессинг, Е.С. Федоров, В.А. Обручев, А.И. Ферсман, Н.Н. Белелюбский. Начинают производиться новые материалы: портландцемент, новые гипсы, цементные бетоны, полимерные материалы и т. д.

В машиностроении широкое применение получили металлы и сплавы металлов,

именно поэтому металловедение является важной частью материаловедения.

Металловедение как наука возникло в России в XIX в, оно является научной основой для разработки новых оптимальных технологических процессов: термической обработки, литья, прокатки, штамповки, сварки. Сочетание высокой прочности и твердости с хорошей пластичностью, вязкостью и обрабатываемостью, не встречающееся у других материалов, явилось причиной использования металлов в качестве основного конструкционного материала во всех областях техники.

Впервые установил существование связи между строением стали и ее свойствами выдающийся русский ученый П.П. Аносов (1799–1851 гг.), раскрывший давно утраченный секрет изготовления и получения древними мастерами Востока булатной стали, которая идет для производства клинков. Булатная сталь Аносова славилась во всем мире и даже вывозилась за границу. Клинки, которые были изготовлены из этой стали, отличались высокой твердостью и вязкостью. П.П. Аносов считается «зачинателем» производства высококачественной стали, он впервые применил микроскоп для определения строения стали и положил начало изучению закономерной связи между структурой и свойствами сплавов.

Основоположник научного металловедения Д.К. Чернов (1839–1921 гг.), который открыл в 1868 г. фазовые превращения в стали. Открытие Д.К. Черновым критических точек α и β (по современному обозначению A_1 и A_3) совершило революцию в познании природы металлических сплавов и позволило объяснить ряд «таинственных» явлений, которые происходят при термической обработке сталей.

Огромный вклад в развитие науки о металлах внесли Н.С. Курнаков, А.А. Байков, Н.Т. Гудцов, А.А. Бочнар, Г.В. Курдюмов, С.С. Штейнберг, А.П. Гуляев, а также другие советские ученые.

Большое значение в развитии металловедения и термической обработки имели работы Осмонда (Франция), Зейтца, Бейна и Мейла (США), Таммана и Ганемана (Германия).

В XX веке были достигнуты крупные достижения в теории и практике материаловедения, созданы высокопрочные материалы для инструментов, разработаны композиционные материалы, открыты и использованы свойства полупроводников, совершенствовались способы упрочнения деталей термической и химико-термической обработкой.

2. Зеренное строение металлов. Границы зерен и субзерен

Металлы – это поликристаллические тела, они состоят из мелких кристаллов. Характеризуются металлическими свойствами и составляют 50 % всех химических элементов. Строение металлов и их сплавов кристаллическое.

В процессе кристаллизации кристаллы приобретают неправильную форму. Их называют зернами. Каждое зерно имеет свою ориентировку кристаллической решетки, которая отличается от ориентировки соседних зерен. Размер зерна металла влияет на его механические свойства. Данные свойства, вязкость и пластичность, значительно выше, если металл имеет мелкое зерно.

Поверхности раздела зерен называются границами зерен, которые могут быть: наклонными при расположении оси вращения в той же плоскости, что и граница; кручеными при перпендикулярно расположенной оси к плоскости. Такой кусок металла является поликристаллом. Границы зерен определяются точками соприкосновения смежных кристаллов. О размерах, структуре и характере строения зерен можно судить по изломам металла.

В поликристаллических материалах размер зерен от 1 до 1000 мкм. Зерна разориентированы, повернуты одни относительно других до десятков градусов. Границы являются основным дефектом в металлах. На границах между зернами атомы не имеют правильного расположения. Существует переходная область шириной в несколько атомных

диаметров, в которой решетка одного зерна переходит в решетку другого зерна с иной ориентацией. Строение переходного слоя (границы) способствует скоплению в нем дислокаций, так как при переходе через границу ни плоскость скольжения, ни вектор Бюргерса не сохраняются неизменными. Нарушение правильности расположения способствует тому, что на границах зерен повышена концентрация тех примесей, которые понижают поверхностную энергию. Внутри зерен нарушается правильное кристаллическое строение.

Границы субзерен менее нарушены.

Все металлы имеют общие свойства: пластичность, высокую тепло- и электропроводность, специфический металлический блеск, повышают электросопротивление с ростом температуры.

Из жидкого расплава вырастает монокристалл, который представляет собой один кристалл. Размеры монокристаллов невелики, их используют в лабораториях для изучения свойств какого-либо вещества. Металлы и сплавы, которые получают в самых обычных условиях, состоят из большого количества кристаллов, они имеют поликристаллическое строение.

Изучение строения металлов с помощью рентгеноструктурного анализа и электронного микроскопа позволило установить, что внутреннее кристаллическое строение зерна не является правильным. В кристаллических решетках реальных металлов имеются различные дефекты (несовершенства), которые нарушают связи между атомами и оказывают влияние на свойства металлов. Все дефекты решетки – это нарушения укладки атомов в решетке.

Расположение атомов в решетке может быть в форме центрированного куба (б- и в-железо, б-титан, хром, молибден, вольфрам, ванадий), куба, грани которого центрированы (г-железо, алюминий, медь, никель, свинец, в-кобальт) или гексагональны, или в форме ячейки (магний, цинк).

Зерна в поликристаллах не являются монолитными, а состоят из отдельных субзерен, которые повернуты одно относительно другого на малый угол. Субзерно является многогранником, в котором содержится либо незначительное количество дислокаций, либо их совсем нет. Основные характеристики субзерен: тип, расположение, строение, плотность дислокаций. Многие дислокации образуются в результате механического сдвига.

Границы субзерен и зерен в металлах разделяют на малоугловые и большеугловые. Малоугловые границы наблюдаются между субзернами и имеют дислокационное строение. Малоугловую границу можно представить с помощью ряда параллельных краевых дислокаций. Образование субзерен с малоугловыми дислокациями называется полигонизацией. Структура большеугловых границ более сложная. Субграницы образованы определенными системами дислокаций. В зависимости от того, какой материал и какое воздействие на него оказывает окружающая среда, находится расположение дислокаций. Если металл мало деформирован, то местом скопления дислокаций являются плоскости скольжения. Если же такие металлы, как алюминий, железо подвергаются сильной деформации, то дислокации представлены в виде сложных сплетений: пространств, сетки.

Структура, в которой субзерна разориентированы друг относительно друга на угол 15-300, является блочной или мозаичной.

Плотность дислокаций в металле повышается при увеличении угла разориентации субзерен и уменьшением их величины. Атомы, расположенные на границах зерен, и атомы на поверхности кристалла из-за некомпенсированности сил межатомного взаимодействия, имеют более высокую потенциальную энергию, по сравнению с атомами в объеме субзерен. Наличие дислокаций влияет на прочностные качества металлов. По теоретическим подсчетам предел упругости чистых металлов в 1000 раз превышает реальный, а предел упругости стали – в 100 раз.

3. Световая микроскопия; количественные характеристики микроструктуры

Самые разнообразные методы применяются для исследования внутреннего строения сплавов, большинство основано на физических принципах.

Изучение строения металлов начинается с помощью простого и распространенного в научных и заводских лабораториях метода – световой микроскопии (металлографический метод). Впервые исследование металлов при помощи микроскопа осуществил П.П. Аносов. Он занимался изучением булатной стали.

Методом световой микроскопии изучают размеры, форму, расположение зерен, дефекты кристаллического строения (двойники, дислокации), а также он используется для прогнозирования поведения металлов в эксплуатационных условиях.

Все металлы – вещества непрозрачные (для видимого света). Форму кристаллов, их размер и расположение изучают на специально изготавливаемых микрошлифах. В этом случае делают разрез металла в плоскости, интересующей исследователя, полученную плоскость шлифуют и полируют.

Применять можно как грубую, так и тонкую шлифовку, с целью устранения неровностей поверхности шлифа. Шлифовку проводят перед полировкой. Чтобы получить ровную поверхность, необходимо при перемене абразива изменять и направление движения образцов на 90°. Шлифовку следует продолжать вплоть до исчезновения рисок от предыдущей операции. По результатам шлифовки шероховатость поверхности должна быть менее 0,08 мкм.

Полировка осуществляется с целью получения зеркальной поверхности образца. Полировка может быть механической, электрохимической и химико-механической.

Механическая шлифовка осуществляется при помощи станка с вращающимся кругом, который покрыт полировальным материалом. На данный материал наносят абразивные частицы.

Химико-механическая полировка осуществляется при помощи абразивных частиц и химических элементов.

Электрохимическая полировка проводится в ванне с электролитом. Для сглаживания поверхности используется ток.

При механической шлифовке и полировке происходит пластическая деформация поверхности образца. В зависимости от того, какова твердость материала, глубина деформации поверхности может достигать до 25 мкм.

После шлифовки и полировки обрабатываемый образец опускают в воду, затем в спирт, после чего сушат при помощи фильтровальной бумаги.

Чтобы выявить структуру, создают рельеф или окрашивают в разные цвета структурные составляющие, что достигается химическим травлением. При травлении кислота воздействует на границы зерна, потому что имеются места с дефектным строением, которые в травленном шлифе станут углублениями; свет, падая на них, рассеивается и в поле зрения микроскопа они будут казаться темными, а тело зерна – светлым.

Для рассмотрения микрошлифов при исследовании микроструктуры металлов применяют специальные микроскопы, в которых луч от источника света, отражаясь от шлифа, проходит через объектив и окуляр, давая соответствующее увеличение.

Общее увеличение микроскопа приравнивается к произведению увеличений объектива и окуляра.

Под микроскопом на микрошлифе после полирования можно увидеть микротрещины и неметаллические включения (графит в чугунах, оксиды). Для выявления самой микроструктуры металла поверхность шлифа травят, т. е. обрабатывают специальными реактивами, состав которых зависит от состава металла. Выявление микроструктуры при травлении основано на том, что различные фазы протравливаются неодинаково и окрашиваются по-разному. В результате травления микрошлифов чистых металлов можно выявить форму и размеры отдельных зерен. Микроанализ позволяет установить величину, форму и ориентировку зерен, отдельные фазы и структурные составляющие, изменение

внутреннего строения металлов и сплавов в зависимости от условий их получения и обработки.

Для того чтобы рассмотреть детали структуры применяют электронный микроскоп, где изображение формируется при помощи потока быстро летящих электронов. Различают прямые и косвенные методы исследования структуры. Косвенные методы основаны на специальной технике приготовления тонких слепков-пленок, которые отображают рельеф травленого шлифа. Исследуя полученную реплику, наблюдают детали структуры, их минимальный размер равен 2–5 нм. Прямые методы позволяют исследовать тонкие металлические фольги толщиной до 300 нм на просвет с помощью электронных микроскопов высокого разрешения (микроскопы УЭМВ-100, УЭМВ-100А, УЭМВ-100В).

Оптический микроскоп не является аппаратом, который может обнаружить кристаллик любого размера.

Количественная металлография сталкивается с определенными трудностями. Так, проблема определения количественных параметров трехмерного объекта путем изучения его двухмерного сечения решается несколькими путями. При помощи сравнительного метода и метода средней длины пересекающего зерно отрезка определяется величина зерен металлов.

Сегодня используется автоматизированная система изучения микрошлифов металлов, которая включает применение микроскопа, видеокамеры, видеобластера и персонального ЭВМ.

4. Элементарная ячейка; координационное число; сингония

Кристаллографические направления и плоскости, анизотропия; межплоскостные расстояния Кристаллическая решетка – упорядоченное расположение атомов. Элементарная ячейка кристалла – минимальный объем кристалла, полностью сохраняющий все его свойства. Атомы в решетке располагаются различно.

Элементарная ячейка повторяется в трех измерениях и образует кристаллическую решетку. Структуру кристалла определяет положение атомов в элементарной ячейке.

Координационное число – общее число нейтральных молекул и ионов, имеющих связь с центральным ионом в комплексе.

1. У элементов четвертой группы ковалентная насыщенная и направленная связь, и у каждого атома четыре соседа. Число ближайших соседей – координационное число. Элементарная решетка – тетраэдр с одним атомом в центре и четырьмя атомами по вершинам.

2. При образовании ионной связи кристаллические решетки более компактны, координационное число достигает 6 из-за ненасыщенности ионной связи. Пример: кристаллическая решетка NaCl – примитивный куб с ионами хлора и натрия в вершинах.

3. Металлические связи делают кристаллические решетки более компактными. Координационные числа достигают значений 8 и 12. В металлических материалах формируются три типа кристаллических решеток: объемноцентрированная кубическая (ОЦК), гранецентрированная кубическая (ГЦК) и гексагональная плотно-упакованная (ГП).

Сингония – одно из подразделений кристаллов по признаку симметрии их элементарной ячейки при одинаковых системах координатных осей. Сингония характеризует симметрию трехмерных структур с трансляционной симметрией в трех направлениях.

Выделяют семь осевых систем в зависимости от длины отрезков, отсекаемых на кристаллографических осях, и взаимного расположения этих осей.

1. Кубическая сингония. Три равновеликие оси пересекаются под прямым углом.

2. Тетрагональная сингония. Два отрезка оси одинаковой длины пересекаются под прямым углом, третья ось перпендикулярна им, и отсекаемый на ней отрезок иной длины.

3. Ромбическая сингония. Три оси разной длины пересекаются под прямыми углами.

4. Моноклинные сингония. Две оси разной длины пересекаются под косым углом, третья ось составляет с ними прямой угол.

5. Триклинная сингония. Три оси разной длины пересекаются под косыми углами.

6. Тригональная сингония. Три отрезка осей равной длины пересекаются в одной плоскости под углом 60° , третья ось перпендикулярна этой плоскости, и отсекаемый на ней отрезок имеет иную длину.

7. Гексагональная сингония. Положение осей аналогично их положению в тригональной сингонии.

Упорядоченность расположения атомов в кристаллической решетке позволяет выделить отдельные кристаллографические направления и плоскости.

Кристаллографические направления – прямые лучи, выходящие из любой точки отсчета, вдоль которых располагаются атомы. Точки отсчета – вершины куба. Кристаллографические направления – ребра и диагонали граней куба. Могут быть и другие направления. Кристаллографические плоскости – плоскости, на которых лежат атомы.

Кристаллографические направления и плоскости характеризуются индексами Миллера, которые определяют их различные положения. Параллельные плоскости в кристаллической решетке, построенные идентично, имеют одинаковые индексы. Чтобы индексы получались из простых целых чисел, плоскость можно смещать параллельно. Положение любого узла кристаллической решетки относительно произвольно выбранного начала координат определяют заданием координат x , y , z . Для одной элементарной ячейки эти координаты равны параметрам решетки a , b , c соответственно.

Для определения индекса находят координаты ближайшего к точке отсчета атома, лежащего на этом направлении, выраженные через параметр решетки.

Все физические, включая и прочностные, свойства металлов вдоль различных кристаллографических направлений зависят от числа атомов, расположенных на упомянутых направлениях. В кристаллической решетке на различных направлениях находится разное число атомов. В кристаллических веществах должна наблюдаться анизотропия, т. е. неодинаковость свойств вдоль различных направлений.

Анизотропия – результат упорядоченного расположения атомов в кристаллических телах, проявляется в пределах монокристалла. Реальные металлы – тела поликристаллические, включающие многочисленные зерна, произвольно ориентированные друг к другу своими кристаллографическими направлениями и плоскостями. Анизотропия механических свойств наблюдается при испытании образцов, вырезанных вдоль различных кристаллографических направлений.

Реальные металлы имеют усредненную изотропность и называются квазиизотропными или псевдоизотропными телами

Межплоскостное расстояние – кратчайшее расстояние, разделяющее параллельные и равноотстоящие друг от друга узловые плоскости.

5. Классификация дефектов кристаллического строения. Точечные дефекты, зависимость их концентрации от температуры. Краевая и винтовая дислокации

Монокристалл можно вырастить из жидкого расплава. Монокристалл представляет кусок металла из одного кристалла. Металлы и сплавы, которые получают при обычных условиях, состоят из большого количества кристаллов и имеют поликристаллическое строение. Эти кристаллы называют зернами, и они имеют неправильную форму. Каждое зерно имеет свою ориентировку кристаллической решетки, и она отличается от ориентировки соседних зерен.

Внутреннее кристаллическое строение зерна не является правильным. В кристаллических решетках металлов имеются дефекты (несовершенства), которые нарушают связи между атомами и оказывают влияние на свойства металлов. Все дефекты решетки это нарушения укладки атомов в решетке. Поверхностные несовершенства – границы зерен металла. Различают следующие структурные несовершенства: дефект решетки, точечный,

малый, линейный, плоский. Дефекты кристаллов значительно меняют физические, механические, химические, технологические свойства металлов.

К точечным дефектам относятся вакансии (пустые узлы), чужеродные атомы внедрения. Чем выше температура, тем больше дефектов.

Атомы примесей являются одним из самых распространенных несовершенств кристаллической структуры (вакансии, дислоцированные атомы).

Вакансии – это пустой узел кристаллической решетки, который образуется из-за различных причин. Источники вакансий – границы зерен, в которых нарушено правильное расположение атомов. Число вакансий и их концентрация зависят от температуры в обработке. Число вакансий увеличивается с повышением температуры. Одиночные вакансии встречаются при перемещении по кристаллу и объединяются в пары, образуя дивакансии, при этом уменьшается их суммарная поверхность, устойчивость спаренной вакансии возрастает, возможно образование тривакансий и целых цепочек.

Дислоцированные атомы – это атомы, вышедшие из узла кристаллической решетки и занявшие место в междоузлии. Относятся к точечным дефектам.

Примесные атомы занимают в кристаллической решетке место основных атомов или внедряются внутрь ячейки (разновидность точечных дефектов).

Если правильность кристаллического строения вокруг вакансий, дислоцированных атомов и атомов примесей нарушается, то нарушается и уравновешенность силовых полей атомов во всех направлениях. Все изменения составляют не больше нескольких атомных диаметров. Точечные дефекты взаимодействуют друг с другом. Имеет место взаимодействие точечных дефектов и с дефектами линейными – дислокациями.

Линейные дефекты малы в двух измерениях, в третьем они большего размера, который может быть соизмерим с длиной кристалла. К линейным дефектам относятся цепочки вакансий, межузельных атомов и дислокации. Дислокации могут быть достаточно протяженными в одном направлении, и иметь небольшое протяжение в противоположном направлении. От наличия дислокаций напрямую зависят прочность и пластичность металлов.

Линейные несовершенства – дислокации, они являются особым видом несовершенств в кристаллической решетке. Характеристикой дислокационной структуры является плотность дислокаций.

В настоящее время известны различные механизмы образования дислокаций. Дислокации могут возникать при росте зерен, при образовании субзерен. Экспериментально установлено, что границы зерен и блоков имеют большую плотность дислокаций. При кристаллизации из расплава энергетически выгодно, когда зародыш растет с образованием винтовой дислокации на его поверхности. Способствуют образованию дислокаций и сегрегации примесей. В затвердевшем металле дислокации возникают в результате скопления вакансий.

Область несовершенства кристалла вокруг края экстраплоскости называется краевой (линейной) дислокацией. Краевая дислокация представляет быстросзатухающее поле упругих напряжений в кристаллической решетке вокруг края экстраплоскости, которое вызвано тем, что выше этого края параметры решетки несколько сжаты, а ниже соответственно растянуты. В одном измерении протяженность дислокации имеет макроскопический характер (дислокация может обрываться только на границе кристалла – она является границей зоны сдвига). Движение краевой дислокации – консервативное.

Если экстраплоскость находится в верхней части кристалла, то дислокацию называют положительной; если экстраплоскость находится в нижней части кристалла, то ее называют отрицательной.

Винтовые дислокации образуются, если две части кристалла сдвинуты к плоскости скопления вакансий.

Если винтовая дислокация образована вращением по часовой стрелке, то ее называют правой, если вращение против часовой стрелки – левой. Вакансия и межузельные атомы к винтовой дислокации не стекают. Также возможно образование частичных и смешанных

дислокаций. Образование дислокаций повышает энергию кристалла.

Дислокации способствуют увеличению внутреннего напряжения в металлах. Применение поляризованного света позволяет выявить поля напряжений, возникающие вокруг дислокаций.

6. Диффузия в металлах

Диффузия – это перенос вещества, обусловленный беспорядочным тепловым движением диффундирующих частиц. При диффузии газа его молекулы меняют направление движения при столкновении с другими молекулами. Основными типами движения при диффузии в твердых телах являются случайные периодические скачки атомов из узла кристаллической решетки в соседний узел или вакансию.

Развитие процесса диффузии приводит к образованию диффузионного слоя, под которым понимают слой материала детали у поверхности насыщения, отличающийся от исходного по химическому составу, структуре и свойствам.

Диффузионное движение любого атома – это случайное блуждание из-за большой амплитуды колебаний, которое не зависит ни от движения других атомов, ни от предыдущего движения данного атома. Не зависящие от температуры колебания атомов вокруг положения равновесия обычно происходят с частотой $\sim 10^{13} \text{ с}^{-1}$.

Вопрос определения механизма диффузии является весьма сложным. Большую роль в решении этой проблемы сыграли работы Я.И. Френкеля, в которых показано огромное влияние дефектов кристаллической решетки, в особенности вакансий, на процесс диффузионного перемещения атомов. Наиболее затруднительным является простой обменный механизм диффузии, а наиболее вероятным – вакансионный. Каждому механизму диффузии соответствует определенная энергия активации Q , т. е. величина энергетического барьера, который необходимо преодолеть атому при переходе из одного положения в другое.

Перемещение при краудинном механизме диффузии подобно распространению волны: каждый атом смещается на малую величину, а возмущение распространяется быстро. Для диффузии большое значение имеют вакансии и их ассоциации (бивакансии, комплексы вакансии – атом примеси), а также дефекты, являющиеся их источниками (линейные и поверхностные).

Основным механизмом самодиффузии и диффузии в твердых растворах замещения является вакансионный. В твердых растворах внедрения основным механизмом перемещения примесных атомов небольшого размера является межузельный.

Если два хорошо соединенных между собой куска чистых металлов А и В длительно отжигать, то будет наблюдаться взаимное проникновение металлов и смещение первоначальной границы раздела, отмеченной инертными метками (оксидными частицами или вольфрамовыми проволочками) на величину Δx , прямо пропорциональную квадратному корню из времени отжига. Если $D_A > D_B$, то компонент А проникает в В с большей скоростью, чем В в А, вследствие этого часть В образца увеличивается в объеме.

Диффузионная металлизация – процесс диффузионного насыщения поверхности изделий металлами или металлоидами. Диффузионное насыщение проводят в порошкообразной смеси, газовой среде или расплавленном металле (если металл имеет низкую температуру плавления).

Борирование – диффузионное насыщение поверхности металлов и сплавов бором для повышения твердости, коррозионной стойкости, износостойкости проводят путем электролиза в расплавленной соли бора. Борирование обеспечивает особенно высокую твердость поверхности, сопротивление износу, повышает коррозионную стойкость и теплостойкость. Борированные стали обладают высокой коррозионной стойкостью в водных растворах соляной, серной и фосфорной кислот. Борирование применяют для чугунов и стальных деталей, работающих в условиях трения в агрессивной среде (в химическом машиностроении).

Хромирование – диффузионное насыщение хромом проводят в порошкообразных смесях хрома или феррохрома с добавками хромистого аммония (1 %) и окиси алюминия (49 %) при температуре 1000...1050 °С с выдержкой 6...12 ч. Хромирование применяют для деталей, которые работают на износ в пароводяных и агрессивных средах (арматура, вентили). При хромировании изделий из малоуглеродистых сталей твердость повышается и приобретает хорошая коррозионная стойкость.

Алитирование – это процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя алюминием, проводят в порошкообразных смесях алюминия или в расплавленном алюминии. Цель – получение высокой жаростойкости поверхности стальных деталей. Алитирование проводят в твердых и жидких средах.

Силицирование – диффузионное насыщение кремнием проводят в газовой атмосфере. Насыщенный кремнием слой стальной детали имеет не очень высокую твердость, но высокую коррозионную стойкость и повышенную износостойкость в морской воде, азотной, соляной в серной кислотах. Силицированные детали применяют в химической, целлюлозно-бумажной и нефтяной промышленности. Для повышения жаростойкости силицирование применяют для изделий из сплавов на основе молибдена и вольфрама, обладающих высокой жаропрочностью.

В материаловедении разрабатываются макро– и микроскопические теории диффузии. В макроскопической теории делается акцент на формализме, т. е. на термодинамических силах и параметрах. В микроскопической теории используют механизмы, основанные на теории об атомных скачках.

7. Фазовые переходы I и II рода

Компоненты в жидком состоянии (компоненты А) растворимы неограниченно, компоненты в твердом состоянии (компоненты В) не образуют химических соединений и не растворимы.

Диаграммы состояния представляют график в координатах сплава – температура, на котором отражены продукты, образованные в результате взаимодействия компонентов сплава друг с другом в условиях термодинамического равновесия при разных температурах. Это вещества, которые имеют в зависимости от температуры и состава определенное агрегатное состояние, специфический характер строения и определенные свойства, их называют фазами. Фазой считается однородная часть сплава, которая имеет одинаковый состав, строение и свойства. Жидкая фаза представляет раствор расплавленных компонентов. Твердые фазы являются зернами, которые имеют определенную форму, размер, состав, специфику строения и свойства. Это твердые растворы, химические соединения, а также зерна чистых компонентов, которые не образуют с другими компонентами ни твердых растворов, ни химических соединений.

Диаграмма состояния, на которой отображено предельное состояние сплавов, может быть разбита на области. Отдельные области состоят из одной фазы, а некоторые – из двух, они имеют разные составы, строение и свойства. В диаграммах состояния содержится информация, которая необходима для создания и обработки сплавов.

Диаграмма состояния I рода. Правило отрезков. Эта диаграмма охватывает сплавы, компоненты которых образуют смеси своих практически чистых зерен при ничтожной взаимной растворимости.

От температуры зависит фазовое строение сплавов на диаграмме. При термодинамическом воздействии компонентов друг на друга снижается температура их перехода в жидкое состояние.

Сплав двух компонентов, которые плавятся при минимальной температуре, называется эвтектическим или эвтектикой. Эвтектика является равномерной смесью одновременно закристаллизовавшихся мелких зерен обоих компонентов. Температура, при которой одновременно плавятся оба компонента, называется эвтектической температурой.

Переход сплавов из жидкого состояния в твердое при кристаллизации происходит в интервале температур, лежащих между линией ликвидуса и эвтектической температурой, которой соответствует линия солидуса.

Правилу отрезков подчиняются все количественные изменения в сплавах при кристаллизации. В зависимости от состава все сплавы делятся на доэвтектические и заэвтектические. Доэвтектические сплавы содержат компонента А свыше (100-Вэ)%. В них он является избыточным компонентом. В заэвтектических сплавах избыточным является компонент В (его количество превышает Вэ).

Количество каждой структурной составляющей вычисляется по правилу отрезков применительно к эвтектической температуре.

Диаграмма состояний II рода. Дендритная ликвация. При неограниченной растворимости компонентов друг в друге, которые имеют одинаковые типы решеток и сходное строение наружных электронных оболочек, получают диаграммы II рода.

На диаграмме различают три фазовые области:

1. Выше линии ликвидуса ADB находится область жидкой фазы Ж.
2. Под ней до линии солидуса ADB расположена двухфазная область б + Ж. Фаза б представляет твердый раствор компонентов А и В, зерна имеют единую кристаллическую решетку. Однако у сплавов разного состава число атомов компонентов А и В в элементарных ячейках решетки различно.
3. Область, расположенная под линией солидуса, является однофазной (фаза б).

В отличие от сплавов смесей зерен практически чистых компонентов каждый из затвердевших сплавов на диаграмме состояния представляет совокупность зерен фазы, которые внешне ничем не отличаются друг от друга.

В случае ускоренного охлаждения сплава при кристаллизации диффузионные процессы не успевают завершиться, и центральная часть каждого зерна оказывается обогащенной более тугоплавким компонентом, а периферийная – легкоплавким компонентом (А). Это явление называется дендритной ликвацией, которая снижает прочностные свойства сплавов. Ее предотвращение возможно за счет медленного охлаждения сплава, обеспечивающего его равновесную кристаллизацию.

В случае возникновения дендритной ликвации она устраняется путем длительного диффузионного отжига сплава. Происходящие при этом диффузионные процессы выравнивают химический состав в зернах.

Во время пластической деформации металлического материала внешняя сила должна преодолеть сопротивление передвижению дислокаций, которое определяется значением силы Пайерлса-Набарро. Эта сила зависит от интенсивности межатомного взаимодействия в кристаллической решетке сплава.

Атомы растворимого компонента образуют в решетке твердого раствора более прочную металлическую связь с атомами компонента-растворителя, чем в решетках обоих чистых компонентов. Из-за этого сопротивление пластической деформации твердого раствора с увеличением содержания растворенного в нем другого компонента должно возрастать по криволинейному закону.

8. Плавление металлов и строение расплавов

Плавление – это физический процесс перехода металла из твердого состояния в жидкое расплавленное. Плавление – процесс, обратный кристаллизации, происходит при температуре выше равновесной, т. е. при перегреве. Поскольку жидкий металл обладает большей внутренней энергией, чем твердый, при кристаллизации выделяется теплота. Между теплотой Q и температурой кристаллизации T_k существует определенная связь. Степень перегрева при плавлении металлов не превышает нескольких градусов.

В жидком состоянии атомы вещества из-за теплового движения перемещаются беспорядочно, в жидкости имеются группировки атомов небольшого объема, в их пределах

расположение атомов аналогично расположению в решетке кристалла. Эти группировки неустойчивы, они рассасываются и снова появляются в жидкости. При переохлаждении жидкости некоторые крупные группировки становятся устойчивыми и способными к росту. Эти устойчивые группировки атомов называют центрами кристаллизации (зародышами). Для осуществления процесса плавления необходимо наличие некоторого перегрева над равновесной температурой, т. е. термодинамического потенциала. Выше равновесной температуры более устойчив жидкий металл, он имеет меньший запас свободной энергии. Ниже этой температуры более устойчив твердый металл. При равновесной температуре свободные энергии жидкого и твердого состояния одинаковы, поэтому при этой температуре обе фазы (жидкая и твердая) могут сосуществовать одновременно и притом бесконечно долго. Равновесная температура очень близка к температуре плавления $T_{пл}$, с которой ее часто сравнивают. При охлаждении переход из жидкого состояния в твердое сопровождается образованием кристаллической решетки, т. е. кристаллизацией. Чтобы вызвать кристаллизацию, жидкий металл нужно переохладить до температуры ниже температуры плавления.

Жидкости, находящиеся при температуре, близкой к температуре плавления называются расплавами. Расплавы бывают металлическими, ионными, полупроводниковыми, органическими и высокополимерными. В зависимости от того, какие химические соединения образуют расплавы, выделяют солевые, оксидные, оксидно-силикатные и другие расплавы.

Большинство расплавов имеют в составе икосаэдрические частицы.

В процессе плавления химические связи в расплавах подвергаются видоизменению. В полупроводниках наблюдается образование металлической проводимости, у некоторых галогенидов вместо ионной проводимости происходит снижение электрической проводимости из-за образования расплава с молекулярным составом. Уровень температуры также влияет на тип связи в расплавах.

Среднее координационное число и межатомные расстояния также являются характеристиками расплавов. В процессе плавления металлов происходит уменьшение координационного числа примерно на 10–15 %. В тоже время межатомные расстояния остаются прежними. При плавлении полупроводников происходит увеличение их координационного числа в 1,5 раза, расстояние между атомами также увеличивается. Многокомпонентные расплавы характеризуются неравновесными, метастабильными состояниями, которые имеют взаимосвязь со структурой первоначальных твердых фаз.

Во многих случаях встречается отставание (гистерезис) свойств расплавов в процессе изменения температуры. На свойства и строения расплавов оказывают влияние следующие факторы: температура, время выдержки, скорость колебания температуры, тот материал, из которого создан контейнер, а также наличие примесей.

Состав расплавов отличается своей сложностью. В ионных расплавах могут содержаться простые или комплексные ионы, недиссоциированные и полимерные молекулы, а также свободные объемы. Силикатные расплавы могут содержать изолированные кремнекислородные тетраэдры и образуемые ими цепи, кольца, сетки и каркасы.

Однозначная модель структуры расплавов формируется достаточно сложно, т. к. расплавы содержат разные виды частиц и связи. Основная функция моделей: определение и интерпретация свойств расплавов, а также расчет свойств.

Расплавы в металлургической области подразделяются на промежуточные, побочные и конечные продукты. Используя расплавы в качестве электролитов, в металлургии производят и рафинируют металлы, а также осуществляют нанесение покрытий. Многие сплавы образуются в виде расплавов. Монокристаллы и эпитаксиальные пленки выращиваются из расплавов. В качестве катализаторов принято использовать металлические, солевые и оксидные расплавы. Солевые расплавы применяют в отжиговых и закалочных ваннах, высокотемпературных топливных элементах, в качестве теплоносителей, флюсов в процессе пайки и сварки металлов, реакционных сред в неорганическом и органическом

синтезе, а также как поглотители, экстрагенты и т. д. Некоторые расплавы используются для получения силикатных, фторидных и иных специальных стеков и аморфных металлов.

9. Кристаллизация металлов; зарождение кристаллов, критический зародыш; гомогенное и гетерогенное зарождение кристаллов; рост кристаллов. Кривые Таммана

Кристаллизация – это процесс перехода металла из жидкого состояния в твердое с образованием кристаллической структуры. В природе все самопроизвольно протекающие превращения, кристаллизация и плавление обусловлены тем, что новое состояние в новых условиях является энергетически более устойчивым, обладает меньшим запасом энергии.

Переход металла из жидкого или парообразного состояния в твердое с образованием кристаллической структуры называется первичной кристаллизацией. Образование новых кристаллов в твердом кристаллическом веществе называется вторичной кристаллизацией. Процесс кристаллизации состоит из двух одновременно идущих процессов зарождения и роста кристаллов. Кристаллы могут зарождаться самопроизвольно – самопроизвольная кристаллизация или расти на имеющихся готовых центрах кристаллизации – несамопроизвольная кристаллизация.

Проследить процесс кристаллизации металла можно с помощью счетчика времени и термоэлектрического пирометра. Две разнородные проволоки, которые спаянны концами, погружают в расплавленный металл и при этом возникающий термоток пропорционален температуре металла, а стрелка милливольтметра отклоняется, она указывает температуру по специально градуированной шкале. Показания пирометра записывают во времени и по полученным данным строят кривые охлаждения в координатах температура – время. Критической точкой называется температура, которая соответствует какому-либо превращению в металле.

При охлаждении переход из жидкого состояния в твердое сопровождается образованием кристаллической решетки, т. е. кристаллизацией. Для того чтобы вызвать кристаллизацию, жидкий металл нужно переохладить до температуры ниже температуры плавления. При затвердевании и при аллотропическом превращении в металле вначале образуются центры кристаллизации, вокруг которых группируются атомы, образуя соответствующую кристаллическую решетку. Процесс кристаллизации складывается из двух этапов: образования центров кристаллизации и роста кристаллов. У каждого из возникающих кристаллов кристаллографические плоскости ориентированы случайно, кроме того, при первичной кристаллизации кристаллы могут поворачиваться, так как они окружены жидкостью. Смежные кристаллы растут навстречу друг другу, и точки их столкновения определяют границы кристаллитов (зерен).

У аморфных веществ кривые охлаждения плавные, без площадок и уступов: понятно, что аллотропии у этих веществ быть не может. Механизм кристаллизации металла состоит в том, что при соответствующем понижении температуры внутри тигля с жидким металлом начинают образовываться мелкие кристаллики, называемые центрами кристаллизации или зародышами.

Для начала роста кристаллов из жидкого металла необходимо, чтобы свободная энергия металла

уменьшилась. Если же в результате образования зародыша свободная энергия металла увеличивается, то зародыш растворяется. Минимальный размер способного к росту зародыша называется критическим размером зародыша, а такой зародыш – устойчивым.

Чем больше степень переохладения, понижающая свободную энергию металла, тем меньше критический размер зародыша.

Вокруг образовавшихся центров начинают расти кристаллы. По мере роста кристаллов в металле, оставшемся еще в жидком состоянии, продолжают возникать новые центры кристаллизации. Каждый из растущих новых кристаллов ориентирован в пространстве

произвольно.

Кристаллы с неправильной формой называются зернами или кристаллами. Твердые тела, в том числе и металлы, состоящие из большого количества зерен, называют поликристаллическими.

Д.В. Черновым установлено, что процесс кристаллизации состоит из двух элементарных процессов: зарождения центров кристаллизации и роста кристаллов из этих центров. Гораздо позже Тамман, изучая процесс кристаллизации, установил зависимость числа центров кристаллизации и скорости роста кристаллов от степени переохлаждения.

Пока образовавшиеся кристаллы растут свободно, они имеют более или менее правильную геометрическую форму. Однако при столкновении растущих кристаллов их правильная форма нарушается, так как в этих участках рост граней прекращается. Рост продолжается в тех направлениях, где есть свободный доступ «питающей» жидкости. В результате растущие кристаллы, имеющие сначала геометрически правильную форму, после затвердевания получают неправильную внешнюю форму и поэтому называются кристаллитами или зернами.

Рост зародышей происходит в результате перехода атомов из переохлажденной жидкости к кристаллам. Кристалл растет послойно, каждый слой имеет одноатомную толщину. Различают два элементарных процесса роста кристаллов.

Образование двумерного зародыша.

Рост двумерного зародыша путем поступления атомов из переохлажденной жидкости. После образования на плоской грани двумерного зародыша дальнейший рост нового слоя протекает сравнительно легко, так как появляются участки, удобные для закрепления атомов, переходящих из жидкости.

Размер зерен, образующихся в процессе кристаллизации, зависит не только от числа самопроизвольно зарождающихся центров кристаллизации, но и от числа частичек нерастворимых примесей, всегда имеющих в жидком металле, которые играют роль готовых центров кристаллизации.

10. Строение слитка и аморфные сплавы

Строение стального слитка впервые дано в 1878 г. Д.К. Черновым. Структура литого слитка состоит из трех основных зон. Первая зона – наружная мелкозернистая корка, которая состоит из дезориентированных мелких кристаллов – дендритов.

Вторая зона слитков – зона столбчатых кристаллов. После образования самой корки условия теплоотвода

меняются, градиент температур уменьшается и уменьшается степень переохлаждения стали. Третья зона слитка – зона равноосных кристаллов.

Кристаллы, которые образуются в процессе затвердевания металла, имеют различную форму в зависимости от скорости охлаждения, характера и количества примесей. Чаще в процессе кристаллизации образуются разветвленные (древовидные) кристаллы, которые получили название дендриты из-за своей формы, которые напоминают форму дерева. Такая форма кристаллов объясняется тем, что возникшие в жидком металле зародыши растут в направлении с минимальным расстоянием между атомами. Так образуются оси первого порядка. Одновременно с удлинением осей первого порядка на их ребрах зарождаются и растут перпендикулярно к ним под определенными углами оси второго порядка, от которых уже растут оси третьего порядка и в конечном счете образуются кристаллы в форме дендритов. Дендритное строение выявляется после специального травления шлифов, т. к. все промежутки между ветвями дендритов заполнены, и видны обычно только места стыков дендритов в виде границ зерен. Правильная форма дендритов искажается в результате столкновения и срастания частиц на поздних стадиях процесса. Дендритное строение характерно для макро- и микроструктуры литого металла (сплава).

При соприкосновении с холодной стенкой изложницы образуется зона мелких

равноосных кристаллов. Объем твердого металла меньше жидкого, поэтому между стенкой изложницы и застывшим металлом возникает воздушная прослойка; сама стенка нагревается от соприкосновения с металлом. В результате скорость охлаждения металла уменьшается, рост кристаллов приобретает направленный характер – они растут от стенки изложницы к центру по направлению отвода тепла и образуется зона столбчатых кристаллов. Это явление как бы прорастания длинными кристаллами толщи слитка носит название транскристаллизации. Образующаяся зона замедляет отдачу тепла наружу, скорость охлаждения уменьшается и образуется зона крупных неориентированных кристаллов. В жидком металле содержится какое-то количество растворенных газов, поэтому в объеме слитка при его охлаждении для металлов, которые обладают склонностью к переохлаждению, обнаруживаются только восходящие ветви кривых числа центров кристаллизации и скорости роста кристаллов.

Размер зерен, образующихся в процессе кристаллизации, зависит не только от числа самопроизвольно зарождающихся центров кристаллизации, но и от числа частичек нерастворимых примесей, всегда имеющихся в жидком металле, которые играют роль готовых центров кристаллизации. Такими частичками могут быть оксиды, нитриды, сульфиды. Центрами кристаллизации в металле или сплаве могут быть твердые частицы, которые имеют небольшую разницу в размерах атомов с атомами основного металла, их кристаллическая решетка должна быть близка по строению и параметрам решетке кристаллизующегося металла. Стенки изложниц и других форм, где происходит кристаллизация жидкого металла имеют неровности, шероховатости. Эти неровности влияют на процесс кристаллизации, увеличивая скорость кристаллизации. Если сталь недостаточно раскислена (так называемая кипящая сталь), то газовые пузыри будут образовываться по всему объему слитка.

Если сталь хорошо раскислена (спокойная сталь), то ее отливают в изложницы с утепленной прибыльной надставкой. В этом месте будут кристаллизоваться последние порции жидкого металла. Здесь будут собираться газы. При этом возникает большая пустота, называемая усадочной раковиной. Около усадочной раковины металл будет менее плотным, рыхлым. Поэтому после прокатки слитков спокойной стали верхнюю (прибыльную) часть слитка (около 15–20 % от длины слитка) отрезают. При прокатке форма первичных кристаллов литого металла изменяется. Дендриты деформируются, вытягиваются вдоль направления течения металла, превращаются в волокна. Места стыков кристаллов имеют меньшую прочность, поэтому вдоль волокон деформированная сталь обладает большей прочностью и вязкостью, чем поперек.

Аморфные сплавы достаточно часто бывают хрупкими при растяжении, но сравнительно пластичны при изгибе и сжатии, могут подвергаться холодной прокатке. Магнитомягкие аморфные сплавы бывают трех групп.

1. На основе железа ($\text{Fe}_{81}\text{Si}_{13}\text{B}_{13}\text{C}_2$) с высокими значениями магнитной индукции и низкой коэрцитивной силой.

2. На основе кобальта ($\text{Co}_{66}\text{Fe}_4(\text{Mo}, \text{Si}, \text{B})_{30}$), имеющие сравнительно небольшую индукцию насыщения, но высокие механические свойства, низкую коэрцитивную силу и высокое значение магнитной проницаемости.

3. Железоникелевые сплавы ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{40}\text{P}_{14}\text{B}_6$) со средними значениями магнитной индукции и более низким значением коэрцитивной силы, чем у железных сплавов.

Магнитомягкие аморфные сплавы используются в электротехнике и электронной промышленности.

11. Модифицирование металлов. Стандартные испытания на растяжение, сжатие, изгиб, твердость, ударную вязкость

В жидкий металл могут добавлять модификаторы, чтобы получить нужное строение металла в отливках. Это процесс модифицирования.

По механизму воздействия на процесс кристаллизации модификаторы можно разделить на две группы:

- 1) модификаторы, являющиеся дополнительными центрами кристаллизации;
- 2) модификаторы – поверхностно-активные вещества. Эти модификаторы растворяются в жидком металле. Процесс кристаллизации зависит от имеющихся центров кристаллизации. Этими центрами являются частицы тугоплавких неметаллических включений, оксидов, интерметаллических соединений, образуемых примесями.

К началу процесса кристаллизации центры находятся в жидком металле и имеют вид твердых включений. При кристаллизации атомы металла откладываются на активированной поверхности примеси. Эта кристаллизация называется гетерогенной, при которой роль зародышей играют стенки формы.

При затвердевании имеющиеся в наличие готовые центры кристаллизации приводят к уменьшению размера кристаллов. Эффект измельчения структуры увеличивается при соблюдении структурного и размерного соответствия примесной фазы с основным металлом, которое способствует сопряжению их кристаллических решеток.

В жидком металле присутствуют растворенные примеси, которые вызывают измельчение структуры. Адсорбируясь, они уменьшают поверхностное натяжение на границе раздела жидкость – твердая фаза и линейную скорость роста кристаллов.

Улучшению механических свойств металла способствует измельчение структуры. Для измельчения структуры сплавов применяют технологическую операцию – модифицирование. Эта операция состоит во введении в жидкий сплав перед разливкой специальных добавок – модификаторов. Для этого используют поверхностно-активные вещества, а также элементы, которые образуют тугоплавкие тонкодисперсные частицы. Модификаторы добавляют в сплавы.

Повышение температуры жидкого металла перед разливкой приводит к укрупнению зерна при кристаллизации и, наоборот, уменьшению размера зерна происходит в результате подстуживания металла. Подстуживание эффективно при наличии модификаторов, которые образуют фазы вместе со структурным и размерным соответствием с основным металлом.

Стандартные испытания

Статическое испытание на растяжение – способ механических испытаний металлов. Для статических испытаний изготавливаются круглые образцы испытуемого металла или плоские для листовых материалов. Образцы состоят из рабочей части и головок, которые предназначены для закрепления их в захватах разрывной машины. Размеры образцов стандартизованы. При растяжении образец удлиняется. Некоторые сплавы металлов имеют коэффициент линейного расширения близкий к нулю (применяются для изготовления точных приборов, радиоламп).

В зажимах разрывной машины устанавливают круглый или плоский образец стандартных размеров, и увеличивая нагрузку, следят за изменением его длины. Пишущее устройство машины записывает диаграмму растяжения, по которой определяют механические свойства.

Твердость – свойство материала оказывать сопротивление контактной деформации, способность материала сопротивляться внедрению в его поверхность твердого тела – индентора. Индентор – алмазный наконечник в виде конуса. Испытания на твердость – самый доступный вид механических испытаний.

Испытания на твердость производятся быстро и не требуют сложных образцов, позволяют судить о других механических свойствах металлов (например, о пределе прочности). Распространены методы вдавливания твердого наконечника.

Определение твердости методом Роквелла. В поверхность испытуемого образца вдавливают стальной или алмазный конус с углом 120° или стальной закаленный шарик диаметром 1,59 мм и по глубине проникновения в поверхность оценивают твердость материала.

На твердомере Роквелла нанесены три шкалы: А (черного цвета) – испытание ведут

алмазным конусом, твердость обозначается HRA; В (красного цвета) – испытание ведут шариком, твердость обозначается H13B; С (черного цвета) – испытание ведут стальным конусом, твердость обозначается HRC.

Определение твердости методом Виккерса. В поверхность образца вдавливают четырехгранную алмазную пирамиду и по диагонали отпечатка определяют твердость.

Метод Виккерса позволяет измерять твердость мягких и твердых металлов и сплавов и твердость тонких поверхностных слоев.

Испытания на удар определяют способность металла сопротивляться ударным нагрузкам, которым детали машин подвергаются в процессе работы.

Испытания ударной нагрузкой проводятся над образцами стандартной формы на приборах, которые называются маятниковыми копрами.

Ударная вязкость – работа, затраченная на ударный излом образца и отнесенная к площади его поперечного сечения в месте надреза. Испытания на ударную вязкость проводят для оценки склонности материалов к хрупкому разрушению

Изгиб – более мягкий способ нагружения, чем растяжение. На изгиб испытывают малопластичные материалы. Испытания проводят на образцах большой длины, цилиндрической или прямоугольной формы. Их устанавливают на две опоры. Определяемыми характеристиками служат предел прочности и стрела прогиба.

12. Фазовые превращения в твердом состоянии

Фаза – это однородная часть системы, которая отделена от другой части системы (фазы) поверхностью раздела, при переходе через которую химический состав или структура изменяются скачком.

При кристаллизации чистого металла в системе имеются две фазы: жидкая (расплавленный металл) и твердая (зерна затвердевшего металла). В твердых сплавах фазами могут быть зерна чистого металла, зерна твердого раствора и зерна химического соединения. Многие металлы в жидком состоянии растворяются один в другом в любых соотношениях. В результате растворения образуется однородный жидкий раствор с равномерным распределением атомов одного металла среди атомов другого металла. Благодаря указанному взаимодействию на практике с целью равномерного распределения веществ в сплаве, прибегают к их расплавлению. Некоторые металлы, сильно различающиеся размерами атомов, не растворяются в жидком состоянии, а другие металлы растворяются в жидком состоянии ограниченно. При образовании сплавов в процессе их затвердевания возможно различное взаимодействие компонентов.

Если в процессе кристаллизации сила взаимодействия между однородными атомами больше силы взаимодействия между разнородными атомами, то после кристаллизации образуется механическая смесь, состоящая из зерен чистых металлов. В этом случае в твердом сплаве будут присутствовать зерна одного чистого металла и рядом с ними зерна другого чистого металла. Такая форма взаимодействия возникает при большом различии в свойствах входящих в сплав металлов.

Другой формой взаимодействия между веществами, входящими в состав сплава, является образование твердых растворов.

Твердые растворы – это твердые фазы, в которых соотношения между компонентами могут изменяться. В твердом растворе так же, как и в чистых металлах, атомы в пространстве расположены закономерно и образуют кристаллическую решетку. Этим они и отличаются от жидких растворов. В твердом растворе одно из входящих в состав сплава веществ сохраняет присущую ему кристаллическую решетку, а второе вещество, которое утратило свое кристаллическое строение, в виде отдельных атомов распределяется в кристаллической решетке первого. Первое вещество является растворителем, а второе – растворимым. В зависимости от характера распределения атомов растворимого элемента различают твердые растворы внедрения, замещения и вычитания; независимо от типа

твердого раствора общим для них является то, что они однофазны и существуют в интервале концентраций. Для твердых растворов характерен металлический тип связи.

Наименьшие размеры атомов имеют некоторые металлоиды – водород, азот, углерод, бор, которые образуют с металлами твердые растворы внедрения. Но и у этих элементов размер атомов несколько превышает размер межатомных промежутков в кристаллической решетке металлов, поэтому при образовании твердых растворов внедрения решетка искажается и в ней возникают напряжения. При этом концентрация твердого раствора внедрения не может быть высокой. Она редко превышает 1–2%. В твердых растворах замещения атомы растворимого элемента занимают места атомов основного металла. Посторонние атомы могут замещать атомы растворителя в любых местах, поэтому такие растворы называют неупорядоченными твердыми растворами. Размеры атомов растворимого элемента всегда отличаются от размеров атома растворителя (они больше или меньше), поэтому при образовании твердого раствора замещения кристаллическая решетка метала-растворителя искажается, не утрачивая при этом своего основного строения. Твердые растворы замещения могут быть ограниченными и неограниченными. Одно из условий неограниченной растворимости – размерный фактор. Чем больше различие в атомных радиусах, тем меньше растворимость.

С понижением температуры в твердых растворах замещения происходит процесс перераспределения атомов, в результате которого атомы растворенного элемента займут строго определенные места в решетке растворителя. Такие твердые растворы называют упорядоченными твердыми растворами, а их структуру – сверхструктурой.

Некоторые элементы видоизменяют свое кристаллическое строение в зависимости от изменения внешних условий – температуры и давления. В твердом состоянии литий, молибден имеют объемно-центрированную кубическую решетку; алюминий, серебро, золото, платина – гранецентрированную, а магний, цирконий – гексагональную. При изменении температуры может оказаться, что для того же металла более устойчивой будет другая решетка, чем та, которая была при другой температуре. Это явление носит название полиморфизма. Каждый вид решетки представляет аллотропическое видоизменение или модификацию. При полиморфных превращениях металлов основное значение имеет температура. Превращение одной аллотропической формы в другую происходит при постоянной температуре, называемой температурой полиморфного превращения и сопровождается тепловым эффектом, подобно явлениям плавление-затвердевание или испарение-конденсация. Это связано с необходимостью затраты определенной энергии на перестройку кристаллической решетки.

13. Упругая и пластическая деформация металлов

Деформация – это изменение формы и размеров тела, деформация может вызываться воздействием внешних сил, а также другими физико-механическими процессами, которые происходят в теле. К деформациям относятся такие явления, как сдвиг, сжатие, растяжение, изгиб и кручение.

Упругая деформация – это деформация, которая исчезает после снятия нагрузки. Упругая деформация не вызывает остаточных изменений в свойствах и структуре металла; под действием приложенной нагрузки происходит незначительное обратимое смещение атомов.

При растяжении монокристалла возрастают расстояния между атомами, а при сжатии атомы сближаются. При смещении атомов из положения равновесия нарушается баланс сил притяжения и электростатического отталкивания. После снятия нагрузки смещенные атомы из-за действия сил притяжения или отталкивания возвращаются в исходное равновесное состояние и кристаллы приобретают первоначальные размеры форму.

Деформация может быть упругой, исчезающей после снятия нагрузки, и пластической, остающейся после снятия нагрузки.

Самое малое напряжение вызывает деформацию, причем начальные деформации являются всегда упругими и их величина находится в прямой зависимости от напряжения. Основными механическими свойствами являются прочность, пластичность, упругость.

Важное значение имеет пластичность, она определяет возможность изготовления изделий различными способами обработки давлением. Эти способы основаны на пластическом деформировании металла.

Материалы, которые имеют повышенную пластичность, менее чувствительны к концентраторам напряжений. Для этого проводят сравнительную оценку различных металлов и сплавов, а также контроль их качества при изготовлении изделий.

Физическая природа деформации металлов

Под действием напряжений происходит изменение формы и размеров тела. Напряжения возникают при действии на тело внешних сил растяжения, сжатия, а также в результате фазовых превращений и некоторых других физико-химических процессов, которые связаны с изменением объема. Металл, который находится в напряженном состоянии, при любом виде напряжения всегда испытывает напряжения нормальные и касательные, деформация под действием напряжений может быть упругой и пластической. Пластическая происходит под действием касательных напряжений.

Упругая – это такая деформация, которая после прекращения действия, вызвавшего напряжение, исчезает полностью. При упругом деформировании происходит изменение расстояний между атомами в кристаллической решетке металла.

С увеличением межатомных расстояний возрастают силы взаимного притяжения атомов. При снятии напряжения под действием этих сил атомы возвращаются в исходное положение. Искажение решетки исчезает, тело полностью восстанавливает свою форму и размеры. Если нормальные напряжения достигают значения сил межатомной связи, то произойдет хрупкое разрушение путем отрыва. Упругую деформацию вызывают небольшие касательные напряжения.

Пластической называется деформация, остающаяся после прекращения действия вызвавших ее напряжений. При пластической деформации в кристаллической решетке металла под действием касательных напряжений происходит необратимое перемещение атомов. При небольших напряжениях атомы смещаются незначительно и после снятия напряжений возвращаются в исходное положение. При увеличении касательного напряжения наблюдается необратимое смещение атомов на параметр решетки, т. е. происходит пластическая деформация.

При возрастании касательных напряжений выше определенной величины деформация становится необратимой. При снятии нагрузки устраняется упругая составляющая деформации. Часть деформации, которую называют пластической, остается.

При пластической деформации необратимо изменяется структура металла и его свойства. Пластическая деформация осуществляется скольжением и двойникованием.

Скольжение в кристаллической решетке протекает по плоскостям и направлениям с плотной упаковкой атомов, где сопротивление сдвигу наименьшее. Это объясняется тем, что расстояние между соседними атомными плоскостями наибольшее, т. е. связь между ними наименьшая. Плоскости скольжения и направления скольжения, лежащие в этих плоскостях, образуют систему скольжения. В металлах могут действовать одна или одновременно несколько систем скольжения.

Металлы с кубической кристаллической решеткой (ГЦК и ОЦК) обладают высокой пластичностью, скольжение в них происходит во многих направлениях.

Процесс скольжения не следует представлять как одновременное передвижение одной части кристалла относительно другой, оно осуществляется в результате перемещения в кристалле дислокаций. Перемещение дислокации в плоскости скольжения ММ через кристалл приводит к смещению соответствующей части кристалла на одно межплоскостное расстояние, при этом справа на поверхности кристалла образуется ступенька.

14. Виды разрушения: понятия о вязком и хрупком разрушении

Усталостью называется разрушение металлов под действием повторных нагрузок. Оно происходит у пружин автоматики. Большая часть поломок деталей вызвана усталостью материала. Усталостное разрушение развивается в деталях, работающих при напряжениях меньше предела текучести материала.

Упругопластическая деформация при достижении достаточно высоких напряжений может завершиться разрушением тела. Процесс разрушения состоит из нескольких стадий: зарождение микротрещин, образование макротрещин, распространение макротрещины по всему сечению тела.

В общем случае различают вязкое и хрупкое разрушения. Вид разрушения зависит от многих факторов: состава металла, его структурного состояния, условий нагружения и температуры. Вид разрушения вязкий или хрупкий определяют в результате изучения изломов. Хрупкое разрушение характеризуется ручьеватым изломом. Вязкое разрушение происходит срезом под действием касательных напряжений и сопровождается значительной пластической деформацией. Для вязкого разрушения характерен волокнистый (матовый) излом детали или образца. Хрупкое разрушение происходит под действием нормальных растягивающих напряжений, вызывающих отрыв одной части тела от другой без заметных следов макропластической деформации.

Для хрупкого разрушения характерен кристаллический (блестящий) излом. Хрупкому разрушению предшествует пластическая деформация до достижения трещины критического размера и затем хрупкое бездислокационное разрушение. Хрупкое разрушение – это самопроизвольный процесс.

Возникновение микротрещин при вязком и хрупком разрушениях происходит путем скопления дислокаций перед границами зерен или другими препятствиями (неметаллические включения, карбидные частицы, межфазовые границы), что приводит к концентрации напряжений. При анализе микроструктуры различают транскристаллитное (по телу зерна) и интеркристаллитное (по границам зерен) разрушения. Разрушение металла в условиях эксплуатации конструкций и машин может быть не только вязким или хрупким, но и смешанным – вязкохрупким.

Материалы разрушаются по-разному в случаях усталости и при однократных нагрузках. Разрушение характеризуется отсутствием в изломе внешних признаков пластической деформации, т. е. в целом усталостный излом имеет характер хрупкого излома. Однако в микрообъемах и тонких слоях сечения нагруженного образца могут быть пластические деформации, которые приводят к зарождению трещин. Данные трещины, постепенно развиваясь и распространяясь, приводят к окончательному разрушению материала. В случае усталостного нагружения начало пластической деформации, вызванное движением дислокаций, может быть при напряжениях меньше предела текучести. При увеличении числа циклов нагружения увеличивается плотность дислокаций, в первую очередь, в поверхностных слоях. Тонкие линии скольжения на поверхности превращаются в характерные полосы, профиль которых представлен в виде выступов и впадин. Глубина впадин в зависимости от времени испытания может достигать 10–30 мкм. При образовании устойчивых полос скольжения происходит чередование областей с высокой и низкой плотностью дислокаций.

Усталостные трещины зарождаются в поверхностных впадинах. Один из возможных механизмов образования выступов и впадин связан с круговым движением винтовых дислокаций. Винтовая дислокация перемещается из одной плоскости в другую по замкнутому контуру при помощи поперечного скольжения. В итоге дислокация выходит на поверхность, на которой образуются выступы и впадины.

Микротрещины при циклическом нагружении зарождаются на начальной стадии испытания за счет притока вакансий и последующего возникновения и слияния микропор. В образце может образоваться большое количество микротрещин. Но в дальнейшем

развиваются не все микротрещины, а лишь те, у которых имеются наиболее острые вершины и которые наиболее благоприятно расположены по отношению к действующим напряжениям. К окончательному разрушению образца приводит самая длинная, острая и глубокая трещина, распространяясь по сечению образца: для усталостного излома образца характерно наличие зоны прогрессивно растущей трещины и зоны окончательного излома. В зоне прогрессивно растущей трещины наблюдаются полосы в виде изогнутых линий. Полосы образуются в результате рывков и задержек движения трещины вследствие упрочнения металла у ее основания и расширения ее фронта. На процесс разрушения при циклических нагрузках существенное влияние оказывают концентраторы напряжений. Концентраторы напряжений могут быть конструктивными (резкие переходы от сечения к сечению), технологическими (царапины, трещины, риски от резца), металлургическими (поры, раковины). Независимо от своего происхождения концентраторы напряжений в той или иной степени снижают предел выносливости при одном и том же уровне переменных напряжений. Для оценки влияния концентратора напряжений на усталость испытывают гладкие и надрезанные образцы при симметричном цикле напряжений. Надрез на образце выполняется в виде острой круговой выточки.

15. Электрические свойства проводниковых материалов

В качестве проводниковых материалов используют чистые металлы, а также сплавы металлов. Наибольшей проводимостью обладают чистые металлы, исключением является ртуть. Из меди и алюминия изготавливают обмоточные, монтажные, установочные кабели и провода. Алюминий относится к группе легких металлов. Плотность его равна $2,7 \text{ г/см}^3$. Доступность, большая проводимость, а также стойкость к атмосферной коррозии позволили широко применять алюминий в электротехнике. Недостатками алюминия являются невысокая механическая прочность при растяжении и повышенная мягкость даже у твердотянутого алюминия. Алюминий – металл серебристого цвета или серебристо-белого. Его температура плавления составляет $658\text{--}660^\circ\text{C}$.

Голые провода алюминия могут достаточно длительное время работать благодаря тому, что алюминий в короткое время покрывается тонкой пленкой окисла. Это служит защитой от воздействия кислорода.

Оксидная пленка на алюминиевых проводах имеет значительное электрическое сопротивление, в связи с чем в местах соединения алюминиевых проводов образуются большие переходные сопротивления. Места соединения очищают при использовании вазелина с целью предотвращения влияния кислорода на алюминий.

При увлажнении мест соединения алюминиевых проводов с другими проводами из других металлов (медных, железных), полученных механическим способом (болтовые соединения), образуются гальванические пары с определенной электродвижущей силой. В данном случае алюминиевый провод под воздействием местного тока будет разрушаться.

С целью предотвращения образования гальванических паров во влажной атмосфере места соединения с другими проводами из других металлов должны быть тщательно защищены от влаги лакированием и другими способами.

Непосредственную коррозию алюминия вызывают оксиды азота (NO), хлор (Cl), сернистый газ (SCu, соляная и серные кислоты и другие агенты. Надежные соединения проводов друг с другом, а также с проводами из других металлов осуществляются с помощью холодной или горячей сварки. Чем выше химическая чистота алюминия, тем он лучше сопротивляется коррозии. Поэтому наиболее чистые сорта алюминия с содержанием чистого металла 99,5 % идут для изготовления электродов в электрических конденсаторах, для изготовления алюминиевой фольги и обмоточных проводов малых диаметров 0,05-0,08 мм. Применяют проводниковый алюминий, содержащий чистого металла не менее 99,7 %. Для изготовления проволоки применяют алюминий

с содержанием чистого металла не менее 99,5 %. Алюминиевую проволоку

изготавливают путем волочения и прокатки. Проволока из алюминия бывает трех видов марок: АМ (мягкая отожженная), АПТ (полутвердая) и АТ (твердая неотожженная). Проволоку выпускают диаметром от 0,08 до 10 мм.

Полупроводники составляют обширную область материалов, отличающихся друг от друга большим многообразием электрических и физических свойств, а также большим многообразием химического состава, что и определяет различные назначения при их техническом использовании. По химической природе полупроводники можно разделить на следующие четыре главные группы.

1. Кристаллические полупроводниковые материалы, построенные из атомов и молекул одного элемента.

2. Окисные кристаллические полупроводниковые материалы, то есть материалы из окислов металлов.

3. Кристаллические полупроводниковые материалы на основе соединений атомов третьей и пятой групп системы элементов таблицы Менделеева.

4. Кристаллические полупроводниковые материалы на основе соединений серы, селена, меди, свинца – они называются сульфидами, селенидами.

Карбид кремния относится к первой группе полупроводниковых материалов и является наиболее распространенным монокристаллическим материалом. Этот полупроводниковый материал представляет собой смесь множества малых кристалликов, беспорядочно спаянных друг с другом. Карбид кремния образуется при высокой температуре при соединении графита и кремния. Его используют в фотоэлементах, диодах.

Возможность повышения рабочей температуры изоляции для практики очень важна. В электрических машинах и аппаратах повышение нагрева, которое обычно ограничивается именно материалами электрической изоляции, дает возможность получить большую мощность при тех же габаритах или же при сохранении мощности уменьшить размеры и стоимость изделия.

ГОСТ предусматривает разделение электроизоляционных материалов для электрических машин, трансформаторов и аппаратов на классы нагревостойкости, для которых фиксируются наибольшие допустимые рабочие температуры при использовании этих материалов в электрооборудовании общего применения, длительно работающего в нормальных для данного вида электрооборудования эксплуатационных условиях.

При этих температурах обеспечиваются целесообразные сроки службы электрооборудования.

К классу Y относятся волокнистые материалы на основе целлюлозы и шелка (пряжа, ткани, ленты, бумаги, картоны, древесина и т. п.), если они не пропитаны и не погружены в жидкий электроизоляционный слой.

16. Методы определения электрических свойств

Металлы с высокой электропроводностью (медь, алюминий) используются в электромашиностроении, для устройства линий электропередачи, а сплавы с высоким электросопротивлением – для ламп накаливания электронагревательных приборов.

Тепловые свойства диэлектриков: нагревостойкость, холодостойкость, теплопроводность, тепловое расширение.

Нагревостойкость – способность электроизоляционных материалов и изделий без вреда для них некоторое время выдерживать воздействие высоких температур. Нагревостойкость неорганических диэлектриков определяется по началу существенного изменения электрических свойств. А нагревостойкость органических диэлектриков – по началу механических деформаций растяжения или изгиба, погружению иглы в материал под давлением при нагреве, по электрическим характеристикам.

Тепловое старение изоляции – ухудшение качества изоляции, определяемое при длительном воздействии повышенной температуры.

На скорость старения влияет температура, при которой работает изоляция электрических машин и других электроизоляционных конструкций.

Влияние на скорость старения также оказывают изменение давления воздуха или концентрация кислорода, присутствие озона, химических реагентов, замедляющих или ускоряющих старение. Тепловое старение ускоряется от освещения ультрафиолетовыми лучами, от воздействия электрического поля, механических нагрузок.

ГОСТ предусматривает разделение электроизоляционных материалов для электрических машин, трансформаторов и аппаратов на классы нагревостойкости. При допустимых температурах обеспечиваются целесообразные сроки службы электрооборудования.

Класс Y: волокнистые материалы на основе целлюлозы и шелка, не пропитанные и не погруженные в жидкий электроизоляционный слой.

Класс A: органические волокнистые материалы, работающие пропитанными лаками и погруженные в жидкий электроизоляционный материал, т. е. защищены от воздействия кислорода воздуха.

Класс E: пластические массы с органическим наполнителем и термореактивным связующим типа фенолофор-мальдегидных и подобных им смол, изоляция эмалированных проводов на полиуретановых и эпоксидных лаках. К классам Y, A, E относятся чисто органические электроизоляционные материалы.

Электрическая прочность определяется пробивным напряжением, отнесенным к току диэлектрика в месте пробоя.

Пробой жидких диэлектриков происходит в результате ионизационных тепловых процессов.

Главный фактор пробоя – наличие посторонних примесей.

Наличие примесей вызывает затруднения для создания теории пробоя этих веществ. Поэтому представления теории электрического пробоя применяют к жидкостям, максимально очищенным от примесей.

При высоких значениях напряженности электрического поля может происходить вырывание электронов из металла электродов и разрушение молекул самой жидкости за счет ударов заряженными частицами. При этом большая электрическая прочность жидких диэлектриков по сравнению с газообразными объясняется значительно меньшей длиной свободного пробега электронов.

Пробой жидкостей, содержащих газовые включения, объясняется местным перегревом жидкости (за счет энергии, выделяющейся в сравнительно легко ионизирующихся пузырьках газа), который приводит к образованию газового канала между электродами.

Наличие воды в жидком диэлектрике снижает его электрическую прочность. Вода при нормальной температуре содержится в диэлектрике в виде мельчайших капелек. Под влиянием электрического поля капельки поляризуются и создают между электродами цепочки с повышенной проводимостью, по которым происходит электрический пробой.

Наблюдается своеобразная зависимость электрической прочности жидкого диэлектрика, содержащего воду от температуры. При повышении температуры вода переходит в состояние молекулярного раствора, в котором она слабо влияет на величину электрической прочности. Электрическая прочность жидкого диэлектрика возрастает до некоторого максимума. Дальнейшее снижение электрической прочности объясняется явлениями кипения жидкости.

Увеличение электрической прочности трансформаторного масла при низких температурах связывают с увеличением вязкости масла и меньшими значениями диэлектрической проницаемости льда по сравнению с водой.

Твердые включения (сажа, волокна) искажают электрическое поле внутри жидкости и также приводят к снижению электрической прочности диэлектрических жидкостей.

Очистка жидких диэлектриков от примесей заметно повышает электрическую прочность. Так, например, неочищенное трансформаторное масло имеет электрическую

прочность примерно 4 МВ/м; после тщательной очистки она повышается до 20–25 МВ/м.

На пробой жидких диэлектриков, как и газов, оказывает влияние форма электродов: с увеличением степени неоднородности электрического поля пробивное напряжение при одинаковых расстояниях снижается. В неоднородных электрических полях, так же как и в газах, может быть неполный пробой – корона. Длительная корона в жидких диэлектриках недопустима, т. к. она вызывает разложение жидкости.

Частота тока влияет на электрическую прочность.

17. Теплоемкость и теплопроводность металлов и сплавов

Теплоемкость – это способность вещества поглощать теплоту при нагреве. Ее характеристикой является удельная теплоемкость – количество энергии, поглощаемой единицей массы при нагреве на один градус. От величины теплопроводности зависит возможность появления трещин в металле. Если теплопроводность низкая, то риск возникновения трещин увеличивается. Так, легированные стали имеют теплопроводность, которая в пять раз меньше, чем теплопроводность меди и алюминия. Размер теплоемкости влияет на уровень расходуемого топлива на нагрев заготовки до определенной температуры.

У металлических сплавов удельная теплоемкость находится в пределах 100–2000 Дж/(кг·К). У большинства металлов теплоемкость составляет 300–400 Дж/(кг·К). Теплоемкость металлических материалов растет с повышением температуры. Полимерные материалы, как правило, имеют удельную теплоемкость 1000 Дж/(кг·К) и более.

Электрические свойства материалов характеризуются наличием носителей зарядов электронов или ионов и свободой их передвижения под действием электрического поля.

Высокие энергии ковалентной и ионной связи сообщают материалам с этими типами связи свойства диэлектрика. Их слабая электрическая проводимость обусловлена влиянием примесей, причем под влиянием влаги, образующей с примесями проводящие растворы, электропроводность таких материалов возрастает.

Материалы с разными типами связи имеют различные температурные коэффициенты электросопротивления: у металлов он положителен, у материалов с ковалентным и ионным типом связи – отрицателен. При нагреве металлов концентрация носителей зарядов – электронов не увеличивается, а сопротивление их движению возрастает из-за увеличения амплитуд колебаний атомов. В материалах с ковалентной или ионной связью при нагреве концентрация носителей зарядов повышается настолько, что нейтрализуется влияние помех от увеличения колебаний атомов.

Теплопроводностью называется перенос тепловой энергии в твердых телах, жидкостях и газах при макроскопической неподвижности частиц. Перенос теплоты происходит от более горячих частиц к холодным и подчиняется закону Фурье.

Теплопроводность зависит от типа межатомной связи, температуры, химического состава и структуры материала. Теплота в твердых телах переносится электронами и фононами.

Механизм передачи теплоты, в первую очередь, определяется типом связи: в металлах теплоту переносят электроны; в материалах с ковалентным или ионным типом связи – фононы. Самым теплопроводным является алмаз. В полупроводниках при весьма незначительной концентрации носителей заряда теплопроводность ¹⁷⁶ осуществляется в основном фононами. Чем совершеннее кристаллы, тем выше их теплопроводность. Монокристаллы лучше проводят теплоту, чем поликристаллы, так как границы зерен и другие дефекты кристаллической структуры рассеивают фононы и увеличивают электросопротивление. Кристаллическая решетка создает периодическое энергетическое пространство, в котором передача теплоты электронами или фононами облегчена по сравнению с аморфным состоянием.

Чем больше примесей содержит металл, мельче зерна и больше искажена кристаллическая решетка, тем меньше теплопроводность. Чем больше размеры зерен, тем

выше теплопроводность. Легирование вносит искажение в кристаллические решетки твердых растворов и понижает теплопроводность по сравнению с чистым металлом – основой сплава. Структурные составляющие, представляющие дисперсные смеси нескольких фаз (эвтектики, эвтектоиды), снижают теплопроводность. Структуры с равномерным распределением частиц фаз имеют меньшую теплопроводность, чем основа сплава. Предельным видом подобной структуры является пористый материал. По сравнению с твердыми телами газы являются теплоизоляторами.

Графит имеет высокую теплопроводность. При передаче теплоты параллельно слоям атомов углерода базисной плоскости теплопроводность графита превышает теплопроводность меди более чем в 2 раза

Разветвленные пластины графита в сером чугуна имеют структуру монокристалла, и поэтому он имеет высокую теплопроводность. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом при той же объемной доле графита имеет теплопроводность 25...40 Вт/м*К, что почти вдвое меньше по сравнению с серым чугуном.

При нагреве теплопроводности сталей разных классов сближаются. Стекло имеет низкую теплопроводность. Полимерные материалы плохо проводят теплоту, теплопроводность большинства термопластов не превышает 1,5 Вт/(мОК).

Теплопроводность может меняться также, как и электропроводность в случае, если электронная теплопроводность металла составляет 1 е. Тогда любые изменения, происходящие в химическом и фазовом составе и структуре сплава влияют на теплопроводность также, как и на электропроводность (по правилу Видемана-Франца).

При отдалении состава сплава от чистых компонентов происходит понижение теплопроводности. Исключение составляют, например, медно-никелевые сплавы, в которых происходят обратные явления.

18. Дилатометрия. Магнитные свойства металлов и сплавов.

Методы определения

Дилатометрия – раздел физики; основная задача: изучение влияния внешних условий (температуры, давления, электрического, магнитного полей, ионизирующих излучений) на размеры тел. Главный предмет изучения: тепловое расширение тел и возникающие при этом аномалии.

Дилатометрический метод. При нагреве металлов и сплавов происходит изменение объема и линейных размеров тела – тепловое расширение. Если эти изменения обусловлены только увеличением энергии колебаний атомов вследствие повышения температуры, то при возвращении температуры к прежнему уровню восстанавливаются и исходные размеры тела. Если же в теле при нагреве (или охлаждении) происходят фазовые превращения, то изменения размеров могут быть необратимыми. Изменения размеров тел, связанные с нагревом и охлаждением, изучают на специальных приборах – дилатометрах.

Дилатометрический метод – это метод, при помощи которого определяются критические точки металлов и сплавов, изучаются процессы распада твердых растворов, а также устанавливаются температурные интервалы существования упрочняющих фаз. Достоинство этих приборов – высокая чувствительность и независимость показаний от скорости изменения температуры.

Высокую чувствительность электрических методов измерения широко используют при исследовании фазовых превращений, дефектов тонкой структуры и других явлений, происходящих в металлах и сплавах, которые невозможно изучать другими методами исследования. Электрическое сопротивление измеряют с помощью различных мостовых схем, а также компенсационными методами. Различные способы магнитного анализа используют при исследовании процессов, связанных с переходом из парамагнитного состояния в ферромагнитное (или наоборот), причем возможна количественная оценка этих процессов. Магнитный анализ широко применяют при решении задач практического

металловедения, например, таких, как исследование влияния на структуру режимов термической обработки, деформации, легирования. Возможно использование магнитного анализа и для решения некоторых более сложных задач физического металловедения.

Метод внутреннего трения основан на изучении необратимых потерь энергии механических колебаний внутри твердого тела. Используя этот метод, можно рассчитать коэффициенты диффузии с высокой точностью, в том числе и при низких температурах, где никакой другой метод неприменим; определять изменение концентрации твердых растворов; распределение примесей; получить информацию о фазовых и полиморфных превращениях и изменениях дислокационной структуры.

Магнитотвердые стали и сплавы применяют для изготовления постоянных магнитов. Для постоянных магнитов применяют высокоуглеродистые стали с 1 % С, легированные хромом (3 %) ЕХЗ, а также одновременно хромом и кобальтом, ЕХ5К5, ЕХ9К15М2. Легирующие элементы повышают коэрцитивную и магнитную энергию.

В промышленности широкое применение получили сплавы типа алнико. Сплавы тверды, хрупки и не поддаются деформации, поэтому магниты из них изготавливают литьем, затем проводят шлифование.

Материалы делятся на диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики в зависимости от того, какова степень их магнитной восприимчивости и каков их знак.

Диамагнетики имеют отрицательную магнитную восприимчивость. Их намагничивание направлено противоположно приложенному магнитному полю. Это приводит к ослаблению данного поля. Диамагнетиками являются полупроводники (Si, Ge), диэлектрики (полимеры), некоторые непереходные металлы (Be, Cu, Ag, Pb).

Парамагнетики обладают низкой намагниченностью, которая возникает под воздействием внешнего поля. Парамагнетиками являются К, Na, Al и переходные металлы Mo, W, Ti.

Ферромагнетики отличаются высокой магнитной восприимчивостью. К ним относятся: железо, кобальт, никель и гадолиний. Характеристики: остаточная индукция B_r , коэрцитивная сила H_c и магнитная проницаемость $\mu = B/H$.

Остаточная индукция – магнитная индукция, которая остается в образце в результате его намагничивания и дальнейшего размагничивания.

Коэрцитивная сила – напряженность магнитного поля обратного знака, прилагаемая к образцу с целью его размагничивания.

Магнитная проницаемость является основной характеристикой интенсивности намагничивания. Определив тангенс угла наклона к первичной кривой намагничивания $B = f(H)$, можно высчитать магнитную проницаемость. Сплав ЮНДК15 содержит 18–19 % Ni, 8.5–9.5 % Al, 14–15 % Co, 3–4% Cu.

Магнитомягкие стали (электротехническая сталь) (1212, 1311, 1511, 2011, 2013, 2211, 2312, 2412, 3415, 3416, 79НМ, 81НМА) применяют для изготовления магнитопроводов постоянного и переменного тока. Они предназначены для изготовления якорей и полюсов машин постоянного тока, роторов и статоров асинхронных двигателей и др.

Парамагнитные стали (17Х18Н9, 12Х18Н10Т, 55Г9Н9Х3, 40Г14Н9Ф2, 40Х14Н9Х3ЮФ2 и др.) требуются в электротехнике, приборостроении, судостроении и специальных областях техники.

Недостаток этих сталей – низкий предел текучести (150–350 МПа), что затрудняет их использование для высоко нагруженных деталей машин.

19. Значение механических и физических свойств при эксплуатации изделий

Свойства, как показатели качества материала

Свойства металлов делятся на физические, химические, механические и технологические. К физическим свойствам относятся: цвет, удельный вес, плавкость,

электропроводность, магнитные свойства, теплопроводность, теплоемкость, расширяемость при нагревании.

К химическим – окисляемость, растворимость и коррозионная стойкость. К механическим – прочность, твердость, упругость, вязкость, пластичность.

К технологическим – прокаливаемость, жидкотекучесть, ковкость, свариваемость, обрабатываемость резанием.

Прочностью металла называется его способность сопротивляться действию внешних сил, не разрушаясь. Твердостью называется способность тела противостоять проникновению в него другого, более твердого тела. Упругость – свойство металла восстанавливать свою форму после прекращения действия внешних сил, вызвавших изменение формы (деформацию).

Вязкостью называется способность металла оказывать сопротивление быстро возрастающим (ударным) внешним силам. Вязкость – свойство обратное хрупкости.

Пластичностью называется свойство металла деформироваться без разрушения под действием внешних сил и сохранять новую форму после прекращения действия сил. Пластичность – свойство обратное упругости.

Современными методами испытания металлов являются механические испытания, химический анализ, спектральный анализ, металлографический и рентгенографический анализы, технологические пробы, дефектоскопия. Эти испытания дают возможность получить представление о природе металлов, их строении, составе и свойствах, а также определить доброкачественность готовых изделий.

Механические испытания имеют важнейшее значение в промышленности.

Детали машин, механизмов и сооружений работают под нагрузками. Нагрузки на детали бывают различных видов: одни детали нагружены постоянно действующей в одном направлении силой, другие подвержены ударам, у третьих силы более или менее часто изменяются по своей величине и направлению.

Некоторые детали машин подвергаются нагрузкам при повышенных температурах, при действии коррозии; такие детали работают в сложных условиях.

В соответствии с этим разработаны различные методы испытаний металлов, с помощью которых определяют механические свойства. Наиболее распространенными испытаниями являются статическое растяжение, динамические испытания и испытания на твердость.

Статическими называются такие испытания, при которых испытуемый металл подвергают воздействию постоянной силы или силы, возрастающей весьма медленно.

Динамическими называют такие испытания, при которых испытуемый металл подвергают воздействию удара или силы, возрастающих весьма быстро.

Кроме того, в ряде случаев производятся испытания на усталость, ползучесть и износ, которые дают более полное представление о свойствах металлов.

Механические свойства – это достаточная прочность. Металлы обладают более высокой прочностью по сравнению с другими материалами, поэтому нагруженные детали машин, механизмов и сооружений обычно изготавливаются из металлов.

Для изготовления рессор и пружин применяются специальные стали и сплавы, обладающие высокой упругостью.

Пластичность металлов дает возможность производить их обработку давлением (ковать, прокатывать).

Физические свойства. В авиа-, авто- и вагоностроении вес деталей часто является важнейшей характеристикой, поэтому сплавы алюминия и магния являются здесь особенно полезными.

Удельная прочность для некоторых алюминиевых сплавов выше, чем для мягкой стали. Плавкость используется для получения отливок путем заливки расплавленного металла в формы. Легкоплавкие металлы (свинец) применяются в качестве закалочной среды для стали. Некоторые сложные сплавы имеют низкую температуру плавления, что

расплавляются в горячей воде. Такие сплавы применяются для отливки типографских матриц, в приборах, служащих для предохранения от пожаров.

Металлы с высокой электропроводностью используются в электромашиностроении, для устройства линий электропередачи, а сплавы с высоким электросопротивлением для ламп накаливания электронагревательных приборов.

Магнитные свойства металлов играют первостепенную роль в электромашиностроении (электродвигатели, трансформаторы), в электроприборостроении (телефонные и телеграфные аппараты).

Теплопроводность металлов дает возможность производить их равномерный нагрев для обработки давлением, термической обработки; она обеспечивает возможность пайки металлов, их сварки.

Химические свойства. Коррозионная стойкость особенно важна для изделий, работающих в сильно окисленных средах (колосниковые решетки, детали машин химической промышленности). Для достижения высокой коррозионной стойкости производят специальные нержавеющие, кислотостойкие и жаропрочные стали, а также применяют защитные покрытия для изделий.

20. Типы фаз в металлических сплавах. Правило фаз; правило рычага

Диаграмма состояния – это графическое изображение состояния любого сплава изучаемой системы в зависимости от его концентрации и температуры.

Изучение любого сплава начинается с построения и анализа диаграммы состояния соответствующей системы. Диаграмма состояния дает возможность изучать фазы и структурные составляющие сплава. Используя диаграмму состояния, можно установить возможность проведения термической обработки и ее режимы, температуры литья, горячей пластической деформации.

В любой системе число фаз, которые находятся в равновесии, зависит от внутренних и внешних условий. Закономерности всех изменений, происходящих в системе, подчинены общему закону равновесия, который называется правилом фаз или законом Гиббса. Правило фаз выражает зависимость между числом степеней свободы S (вариантностью) системы, числом компонентов K и числом фаз системы Φ , находящихся в равновесии.

Степенями свободы называют независимые термодинамические параметры, которым можно придавать произвольные (в некотором интервале) значения так, чтобы не изменялись фазовые состояния (не исчезали старые фазы и не появлялись новые).

Обычно все превращения в металлах и сплавах происходят при постоянном атмосферном давлении. Тогда правило фаз записывают так: $S = K - \Phi + 1$.

Уравнение правила фаз позволяет корректировать правильность построения диаграмм состояния.

Фаза – это однородная часть системы, которая отделена от других частей системы (фаз) поверхностью раздела при переходе через которую химический состав или структура вещества изменяется скачком.

Однородная жидкость является однофазной системой, а механическая смесь двух кристаллов – двухфазной, так как каждый кристалл отличается от другого по составу или по строению и они отделены один от другого поверхностью раздела.

Компонентами называются вещества, образующие систему.

Построение диаграмм состояния осуществляют различными экспериментальными методами. Часто пользуются методом термического анализа. Отбирают несколько сплавов данной системы с различным соотношением масс входящих в них компонентов. Сплавы помещают в огнеупорные тигли и нагревают в печи. После расплавления сплавов тигли со сплавами медленно охлаждают и фиксируют скорость охлаждения. По полученным данным строят термические кривые в координатах время–температура. В результате измерений

получают серию кривых охлаждения, на которых при температурах фазовых превращений наблюдаются точки 206 перегиба и температурные остановки. Температуры, соответствующие не фазовым превращениям, называются критическими точками. Точки, отвечающие началу кристаллизации, называют точками ликвидуса, а концу кристаллизации – точками солидуса. По полученным кривым охлаждения для различных сплавов изучаемой системы строят диаграмму состояния в координатах; по оси абсцисс – концентрация компонентов, по оси ординат – температура.

В процессе кристаллизации изменяются и концентрация фаз, и количество каждой фазы. В любой точке диаграммы, когда в сплаве одновременно существуют две фазы, можно определить количество обеих фаз и их концентрацию. Для этого служит правило рычага или правило отрезков.

Правило отрезков. Данная диаграмма охватывает сплавы, компоненты которых образуют смеси своих практически чистых зерен при ничтожной взаимной растворимости. На оси абсцисс отложена процентная доля компонента В в сплаве.

Фазовое строение сплавов на диаграмме зависит от температуры. При термодинамическом воздействии компонентов друг на друга снижается температура их перехода в жидкое состояние, достигая некоторого минимума при определенном для каждой пары компонентов составе. Состав сплава можно определить, спроецировав точку С на ось абсцисс (точка Вэ). Сплав двух компонентов, который плавится при минимальной температуре, называется эвтектическим или эвтектикой.

Эвтектика является равномерной смесью одновременно закристаллизовавшихся мелких зерен обоих компонентов. Температура, при которой одновременно плавятся или кристаллизуются оба компонента, называется эвтектической температурой.

Количественные изменения в сплавах данной системы компонентов при кристаллизации подчиняются правилу отрезков.

Чтобы определить концентрации компонентов в фазах, через данную точку, характеризующую состояние сплава, проводят горизонтальную линию до пересечения с линиями, ограничивающими данную область; проекции точек пересечения на ось концентраций показывают составы фаз.

Проведя через заданную точку горизонтальную линию можно определить количественное соотношение фаз. Отрезки данной линии между заданной точкой и точками, определяющими составы фаз, обратно пропорциональны количествам этих фаз.

Правило отрезков в двойных диаграммах состояния используются только в двухфазных областях. В однофазной области имеется лишь одна фаза; любая точка внутри области характеризует ее концентрацию.

21. Твердые растворы замещения и внедрения; промежуточные фазы; сверхструктуры

Твердые растворы – это фазы, в которых один из компонентов сплава сохраняет свою кристаллическую решетку, а атомы других компонентов располагаются в решетке первого компонента, изменяя ее размеры (периоды). Твердый раствор, который состоит из двух компонентов, имеет один тип решетки и представляет одну фазу.

Различают твердые растворы замещения и твердые растворы внедрения. При образовании твердого раствора замещения атомы растворенного компонента замещают часть атомов растворителя в его кристаллической решетке.

При кристаллизации чистого металла в системе имеются две фазы: жидкая (расплавленный металл) и твердая (зерна затвердевшего металла). В твердых сплавах фазы – это зерна чистого металла, зерна твердого раствора и зерна химического соединения.

Все металлы в жидком состоянии растворяются один в другом в любых соотношениях. В результате растворения образуется однородный жидкий раствор с равномерным распределением атомов одного металла среди атомов другого металла.

Некоторые металлы, сильно различающиеся размерами атомов, не растворяются в жидком состоянии, а немногие металлы растворяются в жидком состоянии ограниченно.

При образовании сплавов в процессе их затвердевания возможно различное взаимодействие компонентов.

Если в процессе кристаллизации сила взаимодействия между однородными атомами окажется больше силы взаимодействия между разнородными атомами, то после кристаллизации образуется механическая смесь, состоящая из зерен чистых металлов. В этом случае в твердом сплаве будут присутствовать зерна одного чистого металла и рядом с ними зерна другого чистого металла. Такая форма взаимодействия возникает при большом различии в свойствах входящих в сплав металлов.

Другой формой взаимодействия между веществами, входящими в состав сплава, является образование твердых растворов.

Твердыми растворами называют такие твердые фазы, в которых соотношения между компонентами могут изменяться. В твердом растворе так же, как и в чистых металлах, атомы в пространстве расположены закономерно, образуя кристаллическую решетку. Этим они и отличаются от жидких растворов. В твердом растворе одно из входящих в состав сплава веществ сохраняет присущую ему кристаллическую решетку, а второе вещество, утратив свое кристаллическое строение, в виде отдельных атомов распределяется в кристаллической решетке первого. Первое вещество является растворителем, а второе – растворимым. В зависимости от характера распределения атомов растворимого элемента различают твердые растворы внедрения, замещения и вычитания. Независимо от типа твердого раствора общим для них является то, что они однофазны и существуют в интервале концентраций. Для твердых растворов характерны металлические связи. В твердых растворах внедрения атомы растворимого элемента распределяются в кристаллической решетке металла-растворителя, занимая места между его атомами.

Ранее было отмечено, что у металлов атомы в кристаллической решетке располагаются близко один к другому и пустоты между ними имеют малые размеры. Разместиться в таких пустотах могут только атомы с очень малыми размерами.

Наименьшие размеры атомов имеют некоторые металлоиды – водород, азот, углерод, бор, которые и образуют с металлами твердые растворы внедрения. Но и у этих элементов размер атомов несколько превышает размер межатомных промежутков в кристаллической решетке металлов, поэтому при образовании твердых растворов внедрения решетка искажается и в ней возникают напряжения. При этом концентрация твердого раствора внедрения не может быть высокой: она редко превышает 1–2%.

В твердых растворах замещения атомы растворимого элемента занимают места атомов основного металла. Посторонние атомы могут замещать атомы растворителя в любых местах, поэтому такие растворы называют неупорядоченными твердыми растворами. Размеры атомов растворимого элемента отличаются от размеров атома растворителя (они больше или меньше), поэтому при образовании твердого раствора замещения кристаллическая решетка металла-растворителя немного искажается, не утрачивая при этом своего основного строения.

Твердые растворы замещения могут быть ограниченными и неограниченными. Одно из условий неограниченной растворимости – размерный фактор: чем больше различие в атомных радиусах, тем меньше растворимость.

С понижением температуры в твердых растворах замещения может произойти процесс перераспределения атомов, в результате которого атомы растворенного элемента займут строго определенные места в решетке растворителя. Такие твердые растворы называют упорядоченными твердыми растворами, а их структуру – сверхструктурой.

Температуру перехода неупорядоченного состояния в упорядоченное называют точкой Курнакова. Упорядоченные твердые растворы характеризуются большей твердостью, меньшей пластичностью и электросопротивлением. Их можно рассматривать как промежуточные фазы между твердыми растворами и химическими соединениями.

22. Система с неограниченной растворимостью в жидком и твердом состояниях; системы эвтектического, перитектического и монотектического типа. Системы с полиморфизмом компонентов и эвтектоидным превращением

Полная взаимная растворимость в твердом состоянии возможна тогда, когда оба компонента имеют одинаковые кристаллические решетки и атомные диаметры компонентов мало отличаются по размерам. Такая диаграмма имеет простой вид и состоит из двух линий ликвидус и солидус, пересекающихся между собой в точках кристаллизации чистых компонентов А и В. Все сплавы затвердевают в некотором интервале температур ($C = 1$).

Если процесс кристаллизации протекает в условиях ускоренного охлаждения, что обычно имеет место при получении литых деталей и слитков, то диффузионное выравнивание состава у кристаллов, выпавших при температурах выше t_3 , не успевает происходить в результате чего получается неодинаковый состав не только у отдельных кристаллов, а в каждом из них. Внутренние участки кристалла будут более богаты тугоплавким компонентом В, наружные – компонентом А. Это явление неоднородности химического состава носит название

Первые кристаллы поверхности слитка будут обогащены компонентом В, а последние, образовавшиеся в середине слитка, – компонентом А. В результате этого возникает макроликвация в слитке.

Ликвация играет отрицательную роль и особенно в тех случаях, когда вредные примеси распределяются неравномерно. Повышенное содержание вредных примесей может привести к преждевременному разрушению деталей.

Имея диаграмму состояния, можно проследить за фазовыми превращениями любого сплава и указать состав и количественное соотношение фаз при любой температуре. Это осуществляется при помощи двух простых правил.

Химический состав выделяющихся кристаллов по мере снижения температуры изменяется по линии солидус от x_c до x_c . В это же время состав жидкой фазы изменяется по линии ликвидус от x_c до x_1 . Это дает основание сформулировать правила определения состава фаз (правило концентраций) и количественного соотношения фаз (правило отрезков).

Компоненты: А и В; фазы: Ж, α , β , где α – твердый раствор атомов компонента В в кристаллической решетке компонента А, а β – твердый раствор атомов компонента А в кристаллической решетке компонента В.

В зависимости от взаимодействия указанных трех фаз возможны два вида диаграмм: диаграмма с эвтектикой и диаграмма с перитектикой.

Диаграмма состояния с эвтектикой. Линия ВСЕ является линией ликвидуса, линия ЕВСКЕ – линией солидуса. Линии ВМ и КГ показывают предельную растворимость компонентов. Как и в предыдущих случаях, за процессом кристаллизации любого сплава можно проследить, пользуясь правилом фаз и правилом отрезков.

Система – это совокупность фаз в твердом или жидком состоянии, находящихся в равновесии при определенных внешних условиях (температуре и давлении).

Разные аллотропические формы принято обозначать буквами греческого алфавита α , β , γ которые в виде индексов добавляют к символу, обозначающему элемент. Аллотропическую форму, устойчивую при самой низкой температуре, обозначают буквой α , существующую при более высокой температуре β , затем γ . Примером аллотропического превращения, обусловленного изменением давления, является видоизменение кристаллического строения углерода, который может существовать в виде графита и алмаза. Полиморфизм имеет большое практическое значение. Используя это явление, можно упрочнять или разупрочнять сплавы с помощью термической обработки.

Большой практический интерес представляют сплавы, у которых один из компонентов или оба имеют полиморфные превращения. В этих сплавах в результате термической

обработки можно получать метастабильные состояния структуры с новыми свойствами.

После кристаллизации всех сплавов данной системы в определенном интервале температур образуется твердый раствор γ , который при понижении температуры ниже t_3 испытывает эвтектоидное превращение $\gamma_c \rightarrow \alpha_E + \beta$

Образовавшуюся смесь двух твердых фаз называют эвтектоидом. В связи с переменной растворимостью компонентов в твердых растворах α и β при дальнейшем охлаждении следуют вторичные выделения твердых растворов β_{II} и α_{II} .

Некоторые элементы видоизменяют свое кристаллическое строение, т. е. тип кристаллической решетки, в зависимости от изменения внешних условий – температуры и давления. Существование вещества в различных кристаллических формах в зависимости от внешних условий обуславливается его стремлением к состоянию с меньшим запасом свободной энергии. Это явление носит название полиморфизма или аллотропии. Каждый вид решетки представляет аллотропическое видоизменение или модификацию. Каждая модификация имеет свою область температур, при которых она устойчива.

При полиморфных превращениях металлов основное значение имеет температура. Превращение одной аллотропической формы в другую происходит при постоянной температуре, называемой температурой полиморфного превращения, и сопровождается тепловым эффектом, подобно явлениям плавление-затвердевание или испарение-конденсация. Это связано с необходимостью затраты определенной энергии на перестройку кристаллической решетки.

Атомные объемы и соответственно полные энергии различных модификаций, как правило, различаются мало, но бывают и исключения.

23. Система с тройной эвтектикой и практически полным отсутствием растворимости компонентов в твердом состоянии; изотермические и политермические сечения

Диаграммы состояния двойных сплавов строят на плоскости: по оси абсцисс откладывают концентрацию компонентов, по оси ординат – температуру для тройных сплавов. Более распространенным является пространственное изображение.

В качестве основания диаграммы применяют равносторонний треугольник, называемый концентрационным. Температуру откладывают по оси, перпендикулярной плоскости концентрационного треугольника. Вершины треугольника отвечают концентрациям, соответствующим чистым компонентам А, В и С изучаемой системы.

На сторонах треугольника откладывают концентрации соответствующих двух компонентов: А-В, В-С, С-А. Каждая точка внутри треугольника отвечает составу какого-либо определенного тройного сплава. Состав сплавов определяется, исходя из известной теоремы в равностороннем треугольнике сумма трех перпендикуляров, опущенных из любой точки К, лежащей внутри треугольника, на его стороны, равна высоте треугольника.

Высоту треугольника принимают за 100 %, тогда перпендикуляры Ка, Кс и Кб будут характеризовать концентрации отдельных компонентов тройного сплава. Количество каждого компонента определяют значением перпендикуляра, опущенного на противоположную сторону, т. е. количество компонента С определится перпендикуляром Кс, компонента А-Ка, компонента В-Кб.

Чаще состав сплавов определяют не по значениям перпендикуляров, а по значениям отрезков, отсекаемых на сторонах треугольника линиями параллельными сторонам треугольника, т. е. по отрезкам Аа, Ве и СД. Отрезок Ад соответствует концентрации компонента В, отрезок Ве-компонента С, а отрезок СД-компонента А. Концентрацию определяют в направлении движения часовой стрелки, но можно определять и в противоположном направлении.

Взаимодействие компонентов в тройных сплавах аналогично двойным: возможно

образование механических смесей, твердых растворов и химических соединений: возможны эвтектические и перитектические реакции, полиморфные превращения. Отличие состоит в том, что в двойных системах превращения обозначаются линиями и точками, а в тройных – плоскостями и линиями. Например, не линия ликвидуса, а поверхность ликвидуса (или поверхность солидуса), не линия эвтектики, а эвтектическая поверхность. Состав двойной эвтектики определяется не точкой, а линией. И только тройная эвтектика проектируется на плоскости треугольника точкой. Все это можно проследить, изучив две типовые диаграммы состояния сплавов трех компонентов.

В отличие от двойных тройные диаграммы позволяют проводить фазовый и структурный анализ реальных технических сплавов, которые, как правило, являются трех- и более компонентными.

Моделью тройной системы является трехгранная призма, опирающаяся на равносторонний треугольник. Верхняя часть призмы является поверхностью ликвидуса. В тройной системе, где все три компонента неограниченно растворимы как в жидком, так и в твердом состоянии, поверхность ликвидуса имеет наиболее простой вид – это поверхность чечевицеобразного зерна, обрезанного с трех сторон. Во всех остальных случаях эта поверхность оказывается сложной, состоящей из нескольких пересекающихся между собой поверхностей, поэтому изучение тройных систем представляет определенные методические трудности.

Основанием трехгранной призмы является равносторонний треугольник, на котором отмечаются концентрации боковыми гранями диаграммы состояния двойных систем, а высотой – температура. Выбор равностороннего треугольника объясняется тем, что в нем концентрации всех компонентов можно показать в одном масштабе. В вершинах этого треугольника располагаются компоненты А, В и С сплава, т. е. 100 % А, 100 % В и 100 % С соответственно. Концентрации двойных сплавов отмечают на соответствующих сторонах треугольника, а концентрации тройных сплавов – в виде точек в пределах площади треугольника.

Определить концентрацию любого тройного сплава можно несколькими способами. Для определения процентного количества компонента А надо провести из точки К линию, параллельную противоположной стороне (ВС) треугольника, до пересечения ее со стороной – шкалой компонента А. Для нахождения процентного количества компонента В надо провести из точки К линию, параллельную противоположной стороне (АС), до пересечения ее со стороной АВ – шкалой компонента В. Подобным способом можно установить процентное количество компонента С. При этом следует иметь в виду, что суммарная концентрация $A + B + C = 100 \%$.

Для пояснения фазовых превращений в тройных системах используют сечения – вертикальные (политермические) и горизонтальные (изотермические). Каждое горизонтальное сечение характеризует равновесное состояние при выбранной температуре и может использоваться для количественных расчетов. Точки, указывающие равновесные составы фаз, находятся на плоскости сечения. Вертикальное сечение показывает последовательность фазовых превращений в сплавах при нагреве или охлаждении для определенного интервала концентраций компонентов. На этих сечениях отсутствует информация о равновесных составах фаз.

24. Правило рычага и центра тяжести треугольника

Пользуясь диаграммой состояния, можно для любой температуры определить не только число фаз, но и их состав и количественное соотношение. Для этого следует применить правило отрезков (правило рычага).

Это правило может быть использовано для диаграмм, в которых сплавы находятся в двухфазном состоянии. Первое правило отрезков – определение состава фаз.

Фазовое строение сплавов на диаграмме зависит от температуры. При термодинамическом воздействии компонентов друг на друга снижается температура их

перехода в жидкое состояние, достигая некоторого минимума при определенном для каждой пары компонентов составе. Состав сплава можно определить, спроецировав точку С на ось абсцисс (точка В 3). Сплав двух компонентов, который плавится при минимальной температуре, называется эвтектическим или эвтектикой. Эвтектика является равномерной смесью одновременно закристаллизовавшихся мелких зерен обоих компонентов. Температура, при которой одновременно плавятся оба компонента, называется эвтектической температурой

На диаграмме состояния температуры, выше которых сплавы находятся в жидком состоянии, лежат на линии АСВ, называемой линией ликвидуса. Переход сплавов из жидкого состояния в твердое при кристаллизации происходит в интервале температур, лежащих между линией ликвидуса и эвтектической температурой, которой соответствует линия солидуса DCE. При этом из каждого сплава по мере снижения температуры в твердую фазу переходит вначале тот компонент, количество которого превышает эвтектическую концентрацию. У доэвтектических сплавов двухфазная область ACD содержит избыточный компонент А и жидкую фазу Ж, а в заэвтектической области BCE находятся соответственно твердая В и жидкая Ж фазы. В обоих случаях фаза Ж является жидким раствором обоих компонентов.

По мере снижения температуры и приближения ее к t_e состав незакристаллизовавшейся фазы приближается к эвтектическому. При этом чем меньше сплав отличается по составу от эвтектического, тем ниже его точка ликвидуса, и тем больше в нем затвердевает эвтектики.

Количественные изменения в сплавах данной системы компонентов при кристаллизации подчиняются правилу отрезков. Количество каждой структурной составляющей, от которого зависят свойства, может быть вычислено по правилу отрезков применительно к эвтектической температуре. При оценке прочностных свойств следует иметь в виду, что та часть сплава, которая представлена эвтектикой, имеет более высокую прочность, чем часть, представленная более крупными зернами избыточной фазы.

Для определения состава фаз для сплава при различных температурах в точке п. Для этого через точку п, характеризующую состояние данного сплава при температуре t_n , надо провести горизонтальную линию (коноду) 24б до пересечения с линиями диаграммы состояния, ограничивающими данную двухфазную область. Точки пересечения l_2 и s_2 проектируют на ось концентраций. Проекция точки l_2 точка l_2 покажет состав жидкой фазы, а точки s_2 – точка s_2 – твердой фазы. Чтобы определить состав фаз при любой температуре, нужно через эту точку провести коноду и спроектировать точки пересечения с ликвидусом и солидусом на ось концентраций. Состав жидкой фазы изменяется по линии ликвидуса, а твердой – по линии солидуса.

При температурах ниже линии солидуса фазовый состав всех сплавов рассматриваемой системы состоит из зерен обоих компонентов: А+В. Различают присутствующие в любом сплаве мелкие зерна А и В, составляющие эвтектику, и крупные зерна избыточных фаз – компонентов А или В соответственно в доэвтектических и заэвтектических сплавах.

Пользуясь вторым положением правила отрезков, определяют количественное соотношение фаз для любой температуры. Количество (масса) фаз обратно пропорционально отрезкам проведенной коноды.

Правило отрезков (рычага) позволяет определить состав и количество твердой и жидкой фаз сплава, находящегося в интервале кристаллизации. По диаграмме состояния можно определить не только число фаз конкретного сплава при данной температуре, но и относительное количество каждой фазы. Для определения количества фаз, например, сплава Pb – Sb, содержащего 72 % Sb, при заданной температуре необходимо провести перпендикуляр из точки на оси концентрации, соответствующей содержанию 72 % Sb, и горизонтальную линию, соответствующую заданной температуре $t_{зад}$. В результате пересечения линий получим точку К. Горизонтальную линию, проходящую через точку К, продолжим до пересечения с линиями диаграммы, получим точки l и S. Точка l соответствует жидкой фазе сплава (лежит на линии ликвидуса), точка S-твердой фазе (лежит на оси

температур чистой сурьмы).

Правило рычага.

1. Количество твердой фазы равно отношению длины плеча, примыкающего к жидкой фазе, к длине всего рычага.

2. Количество жидкой фазы равно отношению длины плеча, примыкающего к твердой фазе, к длине всего рычага.

25. Зависимость механических и физических свойств от состава в системах различного типа

Свойство – это количественная или качественная характеристика материала, определяющая его общность или различие с другими материалами.

Выделяют три основные группы свойств: эксплуатационные, технологические и стоимостные, которые лежат в основе выбора материала, определяют техническую и экономическую целесообразность его применения.

Первостепенное значение имеют эксплуатационные свойства. Работоспособность многих деталей машин и изделий обеспечивает уровень механических свойств.

Механические свойства характеризуют поведение материала под действием внешней нагрузки. Так как условия нагружения деталей машин чрезвычайно разнообразны, то механические свойства включают большую группу показателей.

Работоспособность отдельной группы деталей машин зависит не только от механических свойств, но и от сопротивления воздействию химически активной рабочей среды. Если такое воздействие становится значительным, то определяющим становятся физико-химические свойства материала – жаростойкость и коррозионная стойкость.

Механические свойства характеризуют сопротивление материала деформации, разрушению или особенность его поведения в процессе разрушения. Эта группа свойств включает показатели прочности, жесткости (упругости), пластичности, твердости и вязкости. Основную группу таких показателей составляют стандартные характеристики механических свойств, которые определяют в лабораторных условиях на образцах стандартных размеров. Полученные при таких испытаниях показатели механических свойств оценивают поведение материалов под внешней нагрузкой без учета конструкции детали и условий их эксплуатации. Кроме того, дополнительно определяют показатели конструкционной прочности, которые находятся в наибольшей корреляции со служебными свойствами конкретного изделия и оценивают работоспособность материала в условиях эксплуатации.

Механические свойства материалов характеризуют возможность их использования в изделиях, эксплуатируемых при воздействии механических нагрузок. Основными показателями таких свойств служат параметры прочности, твердость и триботехнические характеристики. Они не являются «чистыми» константами материалов, но существенно зависят от формы, размеров и состояния поверхности образцов, а также режимов испытаний, прежде всего скорости нагружения, температуры, воздействия сред и других факторов. Высокая твердость металла важна при изготовлении режущих изделий. Чаще всего для такого рода изделий используют инструментальные стали.

Прочность – свойство материалов сопротивляться разрушению, а также необратимому изменению формы под действием внешних нагрузок. Она обусловлена силами взаимодействия атомных частиц, составляющих материал. Сила взаимодействия двух соседних атомов зависит от расстояния между ними, если пренебречь влиянием окружающих атомов.

Деформирование – изменение относительного расположения частиц в материале. Наиболее простые его виды: растяжение, сжатие, изгиб, кручение, сдвиг. Деформация – изменение формы и размеров образца или его частей в результате деформирования.

Предел пропорциональности – напряжение, при котором отступление от линейной зависимости между напряжениями и деформациями достигает некоторого значения,

установленного техническими условиями.

Важными физическими свойствами материалов, которые учитываются при использовании материалов, являются плотность, теплоемкость, теплопроводность, тепловое расширение, электропроводность. Особые магнитные свойства железа, никеля, кобальта и их сплавов, а также ферритов, выделили их в группы материалов исключительной ценности – ферро- и ферромагнетики.

Физические свойства определяются типом межатомной связи и химическим составом материалов, температурой и давлением. Для большинства процессов обработки материалов давления не превышают 500 МПа. Такие давления практически не влияют на значения физических свойств. Различают зависимые и независимые от структуры материала физические свойства. Значения последних определяются только химическим составом материала и температурой.

Физические свойства металлов – цвет, плотность, температура плавления, тепло- и электропроводность, способность намагничиваться и т. д. Медь, например, металл красного, а в изломе розового цвета; алюминий серебристо-белого цвета; свинец имеет светло-серый цвет. Важная характеристика физических свойств – электропроводность. Наибольшей (после серебра) электропроводностью обладает медь. Алюминий обладает низкой плотностью, поэтому детали из алюминия и сплавов на его основе широко применяют в автомобиле, тракторостроении. Медь и алюминий, обладающие высокой электропроводностью, используют для изготовления проводников (обмотки трансформаторов, линии электропередачи). Вес изделия или детали также играет важное значение и выступает в качестве главной характеристики.

26. Выбор сплавов для определенного назначения на основе анализа диаграмм состояния

Чистые металлы используют в электрорадиотехнике (проводниковые, электровакуумные). Основными

конструкционными материалами являются металлические сплавы. Сплавом называют вещество, полученное сплавлением двух или более элементов (компонентов). Сплав, приготовленный преимущественно из металлических элементов и обладающий металлическими свойствами, называется металлическим сплавом. Псевдосплавы – сплавы, созданные путем спекания, возгонки, электролиза.

Металлические сплавы можно получать методом порошковой металлургии, диффузией и другими методами. Преимущественное использование в технике металлических сплавов объясняется тем, что они обладают более ценными, чем чистые металлы, комплексами механических, физических и технологических свойств. К основным понятиям в теории сплавов относятся: система, компонент, фаза, вариантность.

Система – группа тел, выделяемых для наблюдений и изучения. В металловедении системами являются металлы и металлические сплавы. Чистый металл является простой системой. Сплавы состоят из двух или большего числа компонентов и являются сложными системами.

Компонентами называют вещества, образующие систему, взятые в меньшем числе. В металлических сплавах компонентами могут быть элементы (металлы и неметаллы) и химические соединения.

Фазой называется однородная часть системы, отделенная от другой части системы (фазы) поверхностью раздела, при переходе через которую химический состав или структура изменяются скачком. Например, при кристаллизации чистого металла в системе имеются две фазы: жидкая (расплавленный металл) и твердая (зерна затвердевшего металла). В твердых сплавах фазами могут быть зерна чистого металла, зерна твердого раствора и зерна химического соединения.

Вариантность – число внутренних и внешних факторов, изменение которых можно

производить при постоянном количестве фаз в системе.

Все металлы в жидком состоянии растворяются один в другом в любых соотношениях. В результате растворения образуется однородный жидкий раствор с равномерным распределением атомов одного металла среди атомов другого металла. Благодаря указанному взаимодействию на практике с целью равномерного распределения веществ в сплаве, как правило, прибегают к их расплавлению. Только лишь очень немногие металлы, главным образом сильно различающиеся размерами атомов, не растворяются в жидком состоянии. Также немногие металлы растворяются в жидком состоянии ограниченно. При образовании сплавов в процессе их затвердевания возможно различное взаимодействие компонентов. Если в процессе кристаллизации сила взаимодействия между однородными атомами окажется больше силы взаимодействия между разнородными атомами, то после кристаллизации образуется механическая смесь, состоящая из зерен чистых металлов. В этом случае в твердом сплаве будут присутствовать зерна одного чистого металла и рядом с ними зерна другого чистого металла. Такая форма взаимодействия возникает при большом различии в свойствах входящих в сплав металлов.

Другой формой взаимодействия между веществами, входящими в состав сплава, является образование твердых растворов.

Твердыми растворами называют такие твердые фазы, в которых соотношения между компонентами могут изменяться. В твердом растворе так же, как и в чистых металлах, атомы в пространстве расположены закономерны, образуя кристаллическую решетку. Этим они и отличаются от жидких растворов. В твердом растворе одно из входящих в состав сплава веществ сохраняет присущую ему кристаллическую решетку, а второе вещество, утратив свое кристаллическое строение, в виде отдельных атомов распределяется в кристаллической решетке первого. Первое вещество является растворителем, а второе – растворимым. В зависимости от характера распределения атомов растворимого элемента различают твердые растворы внедрения, замещения и вычитания.

Твердые растворы также делятся в зависимости от степени растворимости компонентов на растворы с ограниченной растворимостью компонентов и с неограниченной растворимостью.

Построение диаграмм состояния осуществляют различными экспериментальными методами. Наиболее часто пользуются методом термического анализа. Экспериментальная сущность этого метода заключается в следующем. Отбирают несколько сплавов данной системы с различным соотношением масс входящих в них компонентов.

Существуют сплавы – механические смеси, которые образуются в случае невозможности растворения компонентов, находящихся в твердом состоянии. Данные компоненты не могут создать соединения посредством химической реакции. Механические смеси включают элементы, обладающие разными свойствами и строением. В состав сплава включены кристаллы компонентов, которые образуют кристаллические решетки.

Химические соединения – сплавы, которые образуются из разных элементов, содержащих разнородные атомы, между которыми сила взаимодействия значительно выше, чем между однородными атомами.

27. Строение и свойства железа; метастабильная и стабильная фазовые диаграммы железо-углерод. Формирование структуры углеродистых сталей. Определение содержания углерода в стали по структуре

Сплавы железа с углеродом являются самыми распространенными металлическими материалами. Диаграмма состояния железо-углерод дает представление о строении железоуглеродистых сплавов – сталей и чугунов.

Чистое железо – это серебристо-светлый металл, практически не подверженный окислению. Атомный номер 26, атомный вес 55,85. Технически чистое железо содержит

0,10-0,15 % всех примесей. Свойства железа зависят от степени его чистоты. Температура плавления – 1539 °С, плотность – 7,85 г/см³. Железо обладает невысокой твердостью и прочностью и хорошей пластичностью. Чистое железо меньшей прочности, чем чугун или сталь.

Железо со многими элементами образует растворы: с металлами – растворы замещения, с углеродом, азотом и водородом – растворы внедрения. Растворимость углерода в железе зависит от того, в какой кристаллической форме существует железо.

При растворении углерода в железе образуются твердые растворы. Феррит – раствор, получаемый при растворении углерода в низкотемпературной модификации железа. Характеризуется низкой твердостью и повышенной пластичностью. Углерод, растворяясь в высокотемпературной модификации железа, образует пластичный аустенит.

Углерод в природе встречается в виде двух модификаций: в форме алмаза, который имеет сложную кубическую решетку, и в форме графита, имеющего простую гексагональную решетку.

Цементит – карбид железа, содержащий 6,67 % углерода. Хрупкий и твердый. В том случае, если в металле присутствует большое количество кремния, образование цементита не происходит. В данном случае углерод преобразовывается в графит (серый чугун).

Содержание углерода в диаграмме Fe – C (цементит) ограничивается 6,67 %, так как при этой концентрации образуется химическое соединение – карбид железа (Fe₃C) или цементит, который и является вторым компонентом данной диаграммы.

Система Fe – Fe₃C метастабильная. Образование цементита вместо графита дает меньший выигрыш свободной энергии, но кинетическое образование карбида железа более вероятно.

Точка А (1539 °С) отвечает температуре плавления железа, точка D (1500 °С) – температуре плавления цементита, точки N (1392 °С) и G (910 °С) соответствуют полиморфному превращению.

Железоуглеродистые сплавы – это стали и чугуны, которые являются основными материалами, используемыми в машиностроении и современной технике.

Сталь – основной металлический материал, широко применяемый для изготовления деталей машин, летательных аппаратов, приборов, различных инструментов и строительных конструкций. Широкое использование сталей обусловлено комплексом механических, физико-химических и технологических свойств.

Стали сочетают высокую жесткость со статической и циклической прочностью. Эти параметры меняют за счет изменения концентрации углерода, легирующих элементов и технологий термической и химико-термической обработки. Изменяя химический состав, получают стали с различными свойствами и используют их во многих отраслях техники и народного хозяйства.

Углеродистые стали классифицируют по содержанию углерода, назначению, качеству, степени раскисления и структуре в равновесном состоянии.

По содержанию углерода стали подразделяются на низкоуглеродистые (< 0,3 % C), среднеуглеродистые (0,3–0,7 % C) и высокоуглеродистые (> 0,7 % C).

По назначению стали классифицируют на конструкционные и инструментальные. Конструкционные стали представляют наиболее обширную группу, которая предназначена для изготовления строительных сооружений, деталей машин и приборов. К этим сталям относят цементуемые, улучшаемые, высокопрочные и рессорно-пружинные. Инструментальные стали подразделяют на стали для режущего, измерительного инструмента, штампов холодного и горячего (до 200 °С) деформирования.

Стали классифицируют по качеству на обыкновенного качества, качественные, высококачественные. Качество стали – это совокупность свойств, определяемых металлургическим процессом ее производства. Однородность химического состава, строения и свойств стали, а также ее технологичность во многом зависят от содержания газов (кислорода, водорода, азота) и вредных примесей – серы и фосфора. Газы являются

скрытыми, количественно трудно определяемыми примесями, поэтому нормы содержания вредных примесей служат основными показателями для разделения сталей по качеству. Стали обыкновенного качества бывают только углеродистыми (до 0,5 % C), качественные и высококачественные – углеродистыми и легированными. По степени раскисления и характеру затвердевания стали классифицируют на спокойные, полуспокойные и кипящие.

Легированные стали производят спокойными, углеродистые – спокойными, полуспокойными и кипящими.

По структуре в равновесном состоянии стали делятся на:

- 1) доэвтектоидные, имеющие в структуре феррит и перлит;
- 2) эвтектоидные, структура которых состоит из перлита;
- 3) заэвтектоидные, имеющие в структуре перлит и цементит вторичный.

28. Конструкционные и инструментальные углеродистые стали.

Маркировка, применение

Углеродистые конструкционные стали подразделяются на стали обыкновенного качества и качественные.

Марки сталей обыкновенного качества Ст0, Ст1, Ст2,..., Ст6 (с увеличением номера возрастает содержание углерода). Стали обыкновенного качества, особенно кипящие, наиболее дешевые. Из сталей обыкновенного качества изготавливают горячекатаный рядовой прокат: балки, прутки, листы, трубы. Стали применяют в строительстве для сварных и болтовых конструкций. С повышением содержания в стали углерода свариваемость ухудшается. Стали Ст5 и Ст6, имеющие более высокое содержание углерода, применяют для элементов строительных конструкций, не подвергаемых сварке.

Выплавление качественной углеродистой стали производится при соблюдении строгих условий в отношении состава шихты и ведения плавки и разливки. Качественные углеродистые стали маркируют цифрами 08, 10, 15,..., 85, указывающие среднее содержание углерода в сотых долях процента.

Низкоуглеродистые стали имеют высокую прочность и высокую пластичность. Стали, не обработанные термически, применяются для малонагруженных деталей, ответственных сварных конструкций, для деталей машин, упрочняемых цементацией. Среднеуглеродистые стали (0,3–0,5 % C) 30, 35, ..., 55 применяют после нормализации, улучшения и поверхностной закалки. Эти стали имеют высокую прочность при более низкой пластичности, их применяют для изготовления небольших или крупных деталей, не требующих сквозной прокаливаемости. Стали с высоким содержанием углерода обладают высокой прочностью, износостойкостью. Из этих сталей изготавливают пружины и рессоры, замковые шайбы, прокатные валки.

Конструктивная прочность – это комплекс механических свойств, обеспечивающий длительную и надежную работу материала в условиях его эксплуатации. Конструктивная прочность – это прочность материала конструкции с учетом конструкционных, металлургических, технологических и эксплуатационных факторов.

Учитываются четыре критерия: прочность материала, надежность и долговечность материала в условиях работы данной конструкции. Прочность – способность тела сопротивляться деформациям и разрушению.

Надежность – свойство изделия выполнять заданные функции и сохранять свои эксплуатационные показатели в течение требуемого промежутка времени. Надежность конструкции – это ее способность работать вне расчетной ситуации. Главным показателем надежности является запас вязкости материала, который зависит от состава, температуры, условий нагружения, работы, поглощаемой при распространении трещины.

Соппротивление материала хрупкому разрушению является важнейшей характеристикой, определяющей надежность работы конструкций.

Долговечность – свойство изделия сохранять работоспособность до предельного

состояния (невозможности его дальнейшей эксплуатации). Долговечность зависит от условий ее работы (это сопротивление износу при трении и контактная прочность, сопротивление материала поверхностному износу, возникающему при трении качения со скольжением).

Инструментальные стали предназначены для изготовления режущего, измерительного инструмента и штампов холодного и горячего деформирования. Основные свойства для инструмента – износостойкость и теплостойкость. Для износостойкости инструмента необходима высокая поверхностная твердость, а для сохранения формы инструмента сталь должна быть прочной, твердой и вязкой. От теплостойкости стали зависит возможная температура разогрева режущего инструмента. Углеродистые инструментальные стали являются наиболее дешевыми. В основном их применяют для изготовления малоответственного режущего инструмента и для штампово-инструментальной оснастки регламентированного размера.

Производятся (ГОСТ 1435-74) качественные (У7, У8, У9) и высококачественные – (У7А, У8А, У9А) углеродистые стали. Буква У в марке показывает, что сталь углеродистая, а цифра – среднее содержание углерода в десятых долях процента. Буква А в конце марки показывает, что сталь высококачественная. Углеродистые стали поставляют после отжига на зернистый перлит. За счет невысокой твердости в состоянии поставки (НВ 187–217) углеродистые стали хорошо обрабатываются резанием и деформируются, что позволяет применять накатку, насечку и другие высокопроизводительные методы изготовления инструмента.

Стали марок У7, У8, У9 подвергают полной закалке и отпуску при 275–350 °С на тростит; так как они более вязкие, то их используют для производства деревообделочного, слесарного, кузнечного и прессового инструмента.

Заэвтектоидные стали марок У10, У11, У12 подвергают неполной закалке. Инструмент этих марок обладает повышенной износостойкостью и высокой твердостью.

Заэвтектоидные стали используют для изготовления мерительного инструмента (калибры), режущего (напильники, сверла) и штампов холодной высадки и вытяжки, работающих при невысоких нагрузках.

Недостатком инструментальных углеродистых сталей является потеря прочности при нагреве выше 200 °С (отсутствие теплостойкости). Инструмент из этих сталей применяют для обработки мягких материалов и при небольших скоростях резания или деформирования.

29. Белые, серые, половинчатые, высокопрочные и ковкие чугуны Формирование микроструктуры, свойства, маркировка и применение

Чугун – это сплав железа с углеродом. Чугун содержит углерод – 2,14 % и более дешевый материал, чем стали. Он обладает пониженной температурой плавления и хорошими литейными свойствами. Из чугунов можно делать отливки более сложной формы, чем из сталей. Литая структура чугунов содержит концентраторы напряжений, в качестве которых могут быть дефекты: пористость, ликвационная неоднородность, микротрещины.

Белый чугун имеет свое название по виду излома матово-белого цвета. Весь углерод в этом чугуне находится в связанном состоянии в виде цементита. Фазовые превращения протекают согласно диаграмме состояния (Fe – Fe₃C). Белые чугуны в зависимости от содержания углерода бывают: доэвтектическими (перлит + ледебурит); эвтектическими (ледебурит); заэвтектическими (первичный цементит + ледебурит). Эти чугуны имеют большую твердость из-за содержания цементита; они очень хрупкие и для изготовления деталей машин не используются. Отливки из белого чугуна служат для получения деталей из ковкого чугуна с помощью графитизирующего отжига. Отбеленные чугуны-отливки имеют поверхностные слои (12–30 мм) со структурой белого чугуна, а сердцевина – серого чугуна. Высокая твердость поверхности позволяет ей хорошо работать против истирания. Эти

свойства отбеленного чугуна применяются для изготовления валков листовых прокатных станов, колес, шаров для мельниц, тормозных колодок и других деталей.

Белые чугуны кристаллизуются по диаграмме состояния системы сплавов железо – цементит. Значительное содержание твердого и хрупкого цементита в составе белых чугунов является причиной того, что эти чугуны трудно поддаются механической обработке. Они применяются для отливки деталей с последующим отжигом на ковкий чугун, а также для отливки прокатных валков и вагонных колес.

Серый чугун (технический) название получил по виду излома, который имеет серый цвет. В структуре серого чугуна имеется графит. Структура чугуна состоит из металлической основы и графита и его свойства зависят от этих двух составляющих. Графит обладает низкими механическими свойствами.

При медленном охлаждении сплавов железо – углерод происходит выделение графита.

В промышленности применяются доэвтектические серые (литейные) чугуны. Серый чугун, который состоит из феррита и графита, называют ферритным, так как металлическую основу его составляет феррит. Весь углерод в виде графита выделяется при очень медленном охлаждении сплава; если скорость охлаждения в процессе кристаллизации (как первичной, так и вторичной) увеличивается, выделяется не графит, а цементит. Чугун, содержащий до 1,2 % фосфора, применяется для художественного литья, труб.

Маркировка серого чугуна. По ГОСТ чугун в отливках маркируется буквами СЧ с добавлением двух чисел: первое число указывает предел прочности при растяжении ($\sigma_{пч}$) второе – удлинение (σ) в%. Половинчатый чугун состоит из перлита, ледебурита и пластинчатого графита. Сочетает в себе два цвета – серый и белый.

Высокопрочный чугун – это чугун, в котором графит имеет шаровидную форму. Повышение прочности и пластичности чугуна достигается модифицированием, обеспечивающим получение глобулярного (сфероидального) графита вместо пластинчатого. Поверхность графита сфероидальной формы имеет меньшее отношение к объему и определяет наибольшую сплошность металлической основы и прочность чугуна. Такая форма графита получается при присадках в жидкий чугун магния (М) или церия (Се).

Высокопрочный чугун имеет ферритную или перлитную основу. Ферритный чугун имеет повышенную пластичность.

По ГОСТ чугун обозначают числами: первое число указывает предел прочности при растяжении ($\sigma_{пч}$), второе – удлинение (σ) в%. Еще более высокая прочность достигается при модифицировании легированного чугуна.

Высокопрочный чугун применяют вместо стали для изготовления деталей станков, кузнечно-прессового оборудования, работающих в подшипниках при повышенных и высоких давлениях; коленчатых валов, шестерен, муфт и вместо ковкого чугуна для изготовления задних мостов-автомобилей.

Ковкий чугун – чугун с хлопьевидным графитом, условное название мягкого и вязкого чугуна, который получают из белого чугуна специальной термической обработкой; ковке его не подвергают, он обладает высокой пластичностью. Ковкий чугун состоит из сталистой основы и содержит углерод в виде графита. Графит находится в виде включений округленной формы, расположенных изолированно друг от друга и металлическая основа менее разобщена, а сплав обладает значительной вязкостью и пластичностью.

Свойства ковкого чугуна зависят от величины графитных включений (чем меньше эти включения, тем прочнее чугун), но они определяются структурой его металлической основы, которая может быть ферритной, перлитной или смешанной.

В зависимости от состава чугуна и способа термической обработки получают два вида ковкого чугуна: черносердечный и белосердечный. Ковкий чугун более дешевый материал, он обладает хорошими механическими свойствами и применяется в сельскохозяйственном машиностроении, в автомобильной промышленности, вагоностроении, станкостроении.

30. Роль термической обработки в повышении качества

конструкционных материалов

Основные предпосылки для получения необходимого комплекса механических и других свойств у конструкционных сплавов закладываются при их разработке и выплавке.

Реализация же требуемых свойств осуществляется на последующих этапах обработки, преследующих цель придать сплаву не только предусмотренные чертежом форму и размеры, но и рациональное внутреннее строение, под которым следует понимать структурно-фазовый состав и дислокационную структуру, от которых непосредственно зависит комплекс требуемых свойств. Важнейшими этапами обработки сплавов являются термическая обработка и поверхностное упрочнение. Термической обработкой обеспечивается заданный уровень свойств во всем объеме детали, а поверхностным упрочнением – только в определенных наиболее нагруженных и сильно изнашиваемых местах на поверхности детали.

Основные правила термической обработки были разработаны Д.К. Черновым и дополнены А.А. Бочваровым, Г.В. Курдюмовым, А.П. Гуляевым.

Под термической обработкой понимают комплекс операций нагрева и охлаждения сплава, осуществляемых по определенному режиму с целью изменения его строения и получения заданных свойств. Основу термической обработки составляет изменение структурно-фазового состава и дислокационной структуры сплава, которое может быть достигнуто путем использования таких ключевых факторов, как наличие в нем аллотропических превращений или зависящей от температуры ограниченной взаимной растворимости компонентов.

Все существующие виды термообработки, имеющие целью существенно изменить фазовую и дислокационную структуру сплавов и получить оптимальный комплекс эксплуатационных свойств, основаны на использовании одного из упомянутых факторов. При их отсутствии термообработкой можно получить лишь весьма ограниченные результаты. Две наиболее распространенные разновидности термической обработки. Одна из них основана на использовании специфики превращений в сплавах, обусловленной наличием в них аллотропических превращений, а другая базируется на переменной растворимости компонентов друг в друге при нагреве и охлаждении.

В обоих случаях фундаментальной основой технологии термической обработки, гарантирующей получение ожидаемых результатов, является ее режим. Он включает в себя следующие элементы: температуру нагрева, скорость нагрева до заданной температуры, время выдержки при этой температуре и скорость охлаждения.

Термическая обработка бывает предварительной и окончательной. Предварительная термическая обработка используется в тех случаях, когда материал необходимо подготовить к дальнейшим технологическим воздействиям – давлению, резанию и т. д. Окончательная термическая обработка применяется для подготовки свойств готового материала.

Конкретные величины, характеризующие каждый из элементов режима термообработки, зависят от химического состава обрабатываемого сплава, размера детали и целевого назначения выполняемого вида термообработки. Варьируя эти величины, можно существенно изменять фазовую и дислокационную структуры сплава и придавать ему заданные свойства.

От температуры нагрева зависят характер происходящих в сплаве превращений и сама возможность получения после термообработки требуемой структуры. Она выбирается в зависимости от химического состава сплава и цели производимой термообработки.

Скорость нагрева выбирается таким образом, чтобы обеспечить минимальные потери времени на нагрев, и в то же время ее величина должна исключить возникновение в обрабатываемой детали опасных термических напряжений, могущих привести к короблению и растрескиванию детали, что наблюдается при слишком быстром нагреве.

Скорость нагрева зависит от теплопроводности обрабатываемого сплава, которая, в свою очередь, определяется его химическим составом. С усложнением состава

теплопроводность ухудшается. Поэтому нагрев неблагоприятных по составу сплавов до определенных температур осуществляется очень медленно, а затем ускоренно.

Время выдержки детали по достижении заданной температуры должно быть достаточным для ее прогрева от поверхности до сердцевины в наибольшем сечении, а также для полного завершения в сплаве тех, имеющих диффузионный характер структурно-фазовых превращений, которые должны происходить в нем при заданной температуре.

Скорость охлаждения при термической обработке является очень важным элементом режима, от которого зависят особенности приобретаемой сплавом фазовой и дислокационной структуры. Она должна быть достаточной для протекания в сплаве необходимых превращений, но не слишком большой во избежание опасных термических и фазовых напряжений, могущих вызвать растрескивание или деформацию (коробление) детали.

Термическая обработка применяется для улучшения конструкционных материалов, в частности стали. Время проведения термической обработки напрямую зависит от размеров обрабатываемых материалов и деталей.

31. Применение термообработки в технологии производства заготовок и изделий из конструкционных материалов

Наиболее характерным и хорошо изученным процессом является термическая обработка стали. Данный процесс базируется на наличии в ней аллотропических превращений, которые происходят при нагреве и охлаждении в области определенных критических температур. Управляемые структурно-фазовые процессы в стали, которые обеспечивают получение требуемой фазовой и дислокационной структуры, происходят вследствие наличия аллотропии.

Конструктивная прочность – это определенный комплекс механических свойств, обеспечивающий длительную и надежную работу материала в условиях его эксплуатации. Конструктивная прочность – это прочность материала конструкции с учетом конструкционных, металлургических, технологических и эксплуатационных факторов, т. е. это комплексное понятие. Считается, что как минимум нужно учитывать четыре критерия: жесткость конструкции, прочность материала, надежность и долговечность материала в условиях работы данной конструкции.

Жесткость конструкции. Для многих силовых элементов конструкций – шпангоутов, стрингеров, плоских пластинок, цилиндрических оболочек и т. п. – условием, определяющим их работоспособность, является местная или общая жесткость (устойчивость), определяемая их конструктивной формой, схемой напряженного состояния и т. д., а также и свойствами материала.

Показателем жесткости материала является модуль продольной упругости E (модуль жесткости) – структурно нечувствительная характеристика, зависящая только от природы материала. Среди главных конструкционных материалов наиболее высокое значение модуля E имеет сталь, наиболее низкое – магниевые сплавы и стеклопластики. Однако оценка этих материалов существенно изменяется при учете их плотности и использовании критериев удельной жесткости и устойчивости.

При оценке по этим критериям, выбираемым в соответствии с формой и напряженным состоянием, во многих случаях наиболее выгодным материалом являются магниевые сплавы и стеклопластики, наименее выгодным – углеродистые и легированные стали.

Прочность – способность тела сопротивляться деформациям и разрушению. Большинство технических характеристик прочности определяют в результате статического испытания на растяжение.

Эти характеристики зависят от структуры и термической обработки.

Оценивая реальную прочность конструкционного материала, следует учитывать

характеристики пластичности, вязкость материала, т. к. эти показатели в основном определяют возможность хрупкого разрушения.

Это относится и к высокопрочным материалам, которые, обладая высокой прочностью, склонны к хрупкому разрушению.

Надежность – свойство изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки. Надежность конструкции – это также ее способность работать вне расчетной ситуации, например, выдерживать ударные нагрузки. Главным показателем надежности является запас вязкости материала, который зависит от состава, температуры (порог хладноломкости), условий нагружения, работы, поглощаемой при распространении трещины.

Сопротивление материала хрупкому разрушению является важнейшей характеристикой, определяющей надежность работы конструкций.

Долговечность – свойство изделия сохранять работоспособность до предельного состояния (невозможности его дальнейшей эксплуатации).

Долговечность конструкции зависит от условий ее работы. Прежде всего, это сопротивление износу при трении и контактная прочность (сопротивление материала поверхностному износу, возникающему при трении качения со скольжением). Кроме того, долговечность изделия зависит от предела выносливости, зависящего, в свою очередь, от состояния поверхности и коррозионной стойкости материала.

При термообработке материалов используется специальное оборудование: электропечи, газопламенные и элеваторные печи, закалочные баки, соляные ванны и т. д.

Основные виды термической обработки: объемная, поверхностная, местная закалки; нормализованный, гомогенизирующий, рекристаллизационный отжиг, химико-термическая обработка и обработка лазерным нагревом; закалка электроимпульсным полем; термообработка при применении пластической деформации, а также обработка холодом.

Конструкционные стали – это стали, которые используются в производстве различных деталей машин и любых конструкций. Те стали, которые используются при возведении сооружений или конструкций, называют строительными. К конструкционным сталям можно отнести и легированные, и углеродистые стали.

В машиностроении широкое распространение получили конструкционные легированные стали ГОСТ 4543-71, которые бывают: хромистыми, марганцовистыми, хромокремнистыми, хромокремне-марганцевыми, хромоникелевыми и т. д. В зависимости от технических характеристик данные стали делятся на цементируемые стали, стали для азотирования, улучшаемые стали при помощи термической обработки, воздушнозакаливающиеся стали и т. д.

32. Отжиг 1-го рода. Неравновесная кристаллизация

Этот вид термической обработки возможен для любых металлов и сплавов. Его проведение не обусловлено фазовыми превращениями в твердом состоянии. Нагрев при отжиге 1 рода, повышая подвижность атомов, частично или полностью устраняет химическую неоднородность, уменьшает внутренние напряжения, т. е. способствует получению более равновесного состояния. Основное значение при проведении такого отжига имеют температура нагрева и время выдержки при этой температуре, так как именно эти параметры определяют скорость процессов, устраняющих отклонения от равновесного состояния. Скорость нагрева и охлаждения для отжига 1 рода имеет второстепенное значение.

Различают следующие разновидности отжига 1 рода: диффузионный отжиг (гомогенизирующий) используют для устранения химической неоднородности, возникающей при кристаллизации сплава (дендритной ликвации).

Выравнивание химического состава происходит благодаря диффузионным процессам,

скорость которых зависит от температуры.

Рекристаллизационный отжиг применяют после холодной пластической деформации (холодной обработки давлением) для снятия наклепа и получения равновесного состояния сплава. В результате рекристаллизации в деформированном металле образуются новые зерна, снимаются напряжения, и восстанавливается пластичность металла.

Отжиг для снятия напряжений, возникающих при ковке, сварке, литье, которые могут вызвать коробление, т. е. изменение формы, размеров и даже разрушение изделий.

Неравновесная кристаллизация. Процесс диффузии протекает медленно, поэтому в реальных условиях охлаждения состав в пределах каждого кристалла и разных кристаллов не успевает выравниваться и будет неодинаковым.

Если в процессе охлаждения возможен распад твердого раствора, то диаграмма состояния показывает начало этого процесса при самом медленном охлаждении.

С увеличением скорости охлаждения температура начала выделения избыточной фазы снижается, количество выделившейся фазы уменьшается, и при определении большей скорости охлаждения твердый раствор без выделений полностью переохлаждается до комнатной температуры.

Регулируя скорость охлаждения, можно добиться разной степени распада вплоть до полного его подавления.

Такие пересыщенные растворы неустойчивы.

Если тепловая подвижность атомов переохлажденного раствора недостаточна, то состояние пересыщения может сохраняться неопределенно долгое время.

В противном случае с течением времени будет происходить постепенный распад пересыщенного раствора с выделением избыточной фазы. Этот процесс будет ускоряться при повышении температуры.

Вторичные фазы, которые образуются при высокой температуре, при медленном охлаждении твердого раствора или высоком вторичном нагреве закаленного (пересыщенного) твердого раствора не только крупнее по размерам, но ориентационно не связаны с маточной фазой. Слой атомов, относящийся к старой фазе, граничит со слоем атомов, которые принадлежат решетке новой фазы.

Для случая выделения при низкой температуре новая в-фаза определенным образом ориентирована относительно исходной, так что пограничный слой атомов в равной степени принадлежит обеим решеткам.

Подобное сочленение кристаллических решеток называется когерентным. На границе раздела при когерентной связи возникают и сохраняются напряжения тем большие, чем больше отличие в строении (в плоскости раздела) сопряженных решеток.

Если, температуру сплава повышать, то вследствие увеличения тепловой подвижности атомов и наличия напряжений на границах раздела фаз когерентная связь разрывается (явление срыва когерентности), метастабильные фазы переходят в устойчивую в-фазу, пластинчатые кристаллики в-фазы растут, стремясь принять округлую форму. Когда эти процессы пройдут полностью, структура и фазовый состав станут такими же, как и в случае медленного охлаждения.

Процесс фиксирования быстрым охлаждением неустойчивого состояния носит название закалки, а последующий процесс постепенного приближения к равновесному состоянию (путем нагрева или длительной выдержки) называется отпуском и старением. Столь разнообразное изменение структуры, достигаемое разной степенью приближения сплава к равновесному состоянию, приводит к разнообразному изменению свойств, чем и обусловлено широкое применение термической обработки, в основе которой заложены процессы неравновесной кристаллизации.

Сплавы – это вещества, состоящие из двух или более элементов периодической системы. Получают их с помощью спекания или сплавлением. Компонент – вещество, образующее сплав.

Фаза – пространственно ограниченная и отличная от других часть системы, имеющая

свою кристаллическую решетку и свои свойства. Гомогенные вещества имеют одну фазу, а гетерогенные – несколько фаз.

Структура – строение металла, в котором можно различать отдельные фазы, их форму, размеры и взаимное расположение. Структура влияет на свойства.

Равновесное состояние – когда в сплаве все фазы, присущие этой системе оформлены. Это состояние обеспечивается при медленном охлаждении, можно различать размеры и формы фаз.

Неравновесное состояние – процесс образования и обособления фаз не закончился, образуется при быстром охлаждении.

33. Гомогенизационный отжиг, изменение структуры и свойств при гомогенизационном отжиге. Закалка с полиморфным превращением. Закалка без полиморфного превращения

Отжиг – операции нагрева и медленного охлаждения стали с целью выравнивания химического состава, получения равновесной структуры, снятия напряжений.

Применяют отжиг для получения равновесной структуры, поэтому при отжиге детали охлаждают медленно. Углеродистые стали – со скоростью 200 °С/ч, легированные стали – 30-100 °С/ч.

Диффузионный (гомогенизирующий) отжиг применяют для устранения ликвации (выравнивание химического состава). В его основе – диффузия. При этом выравнивается состав и растворяются избыточные карбиды. Такой отжиг проводят при высокой температуре с длительной выдержкой. Гомогенизирующему отжигу подвергают легированные стали. Это объясняется тем, что скорость диффузии углерода, растворенного в аустените по способу внедрения, на несколько порядков больше скорости диффузии легирующих элементов, которые растворяются в аустените по способу замещения. Гомогенизация углеродистых сталей происходит практически в процессе их нагрева. Режим гомогенизирующего отжига: нагрев до температуры 1050–1200 °С, время выдержки составляет 8-10 ч. Температура гомогенизации должна быть достаточно высокой, но нельзя допускать пережога и оплавления зерен. При пережоге кислород воздуха соединяется с частицами металла, образуются окисные оболочки, разобщающие зерна. Пережог в металле устранить нельзя. Пережженный металл является окончательным браком. При диффузионном отжиге обычно получается крупное зерно, которое следует исправлять последующим полным отжигом.

Полный отжиг связан с фазовой перекристаллизацией и измельчением зерна. Сталь в равновесном состоянии содержит перлит и наиболее пластична. Назначение полного отжига – улучшение структуры стали для облегчения последующей обработки резанием, штамповкой или закалкой, получение мелкозернистой равновесной структуры в готовой детали.

Виды (способы) полного отжига: отжиг (обычный и изотермический) на пластинчатый перлит (включения цементита в виде пластинок) и отжиг на зернистый перлит (включения цементита в виде зерен).

При отжиге на пластинчатый перлит охлаждение заготовок производят вместе с печью, чаще всего при частичной подаче топлива, чтобы скорость охлаждения находилась в пределах 10–20 °С в час.

Отжигом достигается измельчение зерна. Крупнозернистая структура получается при затвердевании стали вследствие свободного роста зерен, в результате перегрева стали; такая структура вызывает понижение механических свойств деталей.

Закалка с полиморфным превращением. Закалка без полиморфного превращения

Закалка – термообработка, при которой сталь приобретает неравновесную структуру, что прежде всего выражается в повышении твердости стали. К закалке относят: термообработку на сорбит, тростит и мартенсит. Степень неравновесности продуктов

закалки с увеличением скорости охлаждения повышается и возрастает от сорбита к мартенситу.

Преимуществом истинной закалки является возможность получения из мартенсита за счет последующего отпуска продуктов с комплексами свойств, которые другими видами термообработки получить невозможно.

Истинная закалка получила широкое применение как предварительная обработка перед отпуском.

Важна критическая скорость закалки. От нее зависит прокаливаемость стали, т. е. способность закаливаться на определенную глубину. Критическая скорость закалки зависит от стабильности аустенита, которая определяется количеством растворенных в нем углерода и легирующих элементов. Введением в сталь углерода и легирующих элементов повышается прокаливаемость, которую оценивают с помощью цилиндрических образцов по глубине залегания в них полумартенситного слоя. Полумартенситный слой стали содержит 50 % М и 50 % Т.

Основные параметры при закалке – температура нагрева и скорость охлаждения. Температуру нагрева для сталей определяют по диаграммам состояния, скорость охлаждения – по диаграммам изотермического распада аустенита.

Время нагрева зависит от размеров детали и теплопроводности стали, определяют экспериментально.

Одной из целей легирования конструкционных сталей является уменьшение критической скорости закалки и получение сквозной прокаливаемости изготовленных из них деталей при закалке не только в воде, но и в более мягких охлаждающих средах. От резкости охлаждающей среды зависит уровень термических и фазовых напряжений и вероятность образования трещин в детали. В связи с изложенным при закалке предпочтительны мягкие закалочные среды. При закалке режущего инструмента из высокоуглеродистой стали с целью уменьшения внутренних напряжений применяют охлаждение в двух средах.

У высокоуглеродистых сталей и особенно у сталей с достаточно высоким содержанием легирующих элементов точка М, лежит ниже комнатной температуры, а зачастую и ниже 0 °С. В связи с этим при обычной закалке в них сохраняется много остаточного аустенита. Его наличие снижает твердость закаленной стали и ее теплопроводность, что для режущего инструмента является особенно нежелательным.

Со временем остаточный аустенит претерпевает фазовые превращения, приводящие к изменению размеров изделия. Это крайне недопустимо для мерительного инструмента (скобы, пробки).

34. Изменение микроструктуры и механических свойств металлов при нагреве после горячей и холодной обработки давлением

Обработка металлов давлением основана на их способности в определенных условиях пластически деформироваться в результате воздействия на деформируемое тело (заготовку) внешних сил.

Если при упругих деформациях деформируемое тело полностью восстанавливает исходные форму и размеры после снятия внешних сил, то при пластических деформациях изменение формы и размеров, вызванное действием внешних сил, сохраняется и после прекращения действия этих сил.

Упругая деформация характеризуется смещением атомов относительно друг друга на величину, меньшую межатомных расстояний, и после снятия внешних сил атомы возвращаются в исходное положение. При пластических деформациях атомы смещаются относительно друг друга на величины, большие межатомных расстояний, и после снятия внешних сил не возвращаются в свое исходное положение, а занимают новые положения равновесия.

В зависимости от температурно-скоростных условий деформирования различают

холодную и горячую деформацию.

Холодная деформация характеризуется изменением формы зерен, которые вытягиваются в направлении наиболее интенсивного течения металла. При холодной деформации формоизменение сопровождается изменением механических и физико-химических свойств металла. Это явление называют упрочнением (наклепом). Изменение механических свойств состоит в том, что при холодной пластической деформации по мере ее увеличения возрастают характеристики прочности, в то время как характеристики пластичности снижаются. Металл становится более твердым, но менее пластичным. Упрочнение возникает вследствие поворота плоскостей скольжения, увеличения искажений кристаллической решетки в процессе холодного деформирования (накопления дислокаций у границ зерен). Изменения, внесенные холодной деформацией в структуру и свойства металла, не необратимы. Они могут быть устранены, например, с помощью термической обработки (отжигом). В этом случае происходит внутренняя перестройка, при которой за счет дополнительной тепловой энергии, увеличивающей подвижность атомов, в твердом металле без фазовых превращений из множества центров растут новые зерна, заменяющие собой вытянутые, деформированные зерна. Так как в равномерном температурном поле скорость роста зерен по всем направлениям одинакова, то новые зерна, появившиеся взамен деформированных, имеют примерно одинаковые размеры по всем направлениям. Явление зарождения и роста новых равноосных зерен взамен деформированных, вытянутых, происходящее при определенных температурах, называется рекристаллизацией. Для чистых металлов рекристаллизация начинается при абсолютной температуре, равной 0,4 абсолютной температуры плавления металла. Рекристаллизация протекает с 346 определенной скоростью, причем время, требуемое для рекристаллизации, тем меньше, чем выше температура нагрева деформированной заготовки. При температурах ниже температуры начала рекристаллизации, наблюдается явление, называемое возвратом. При возврате (отдыхе) форма и размеры деформированных, вытянутых зерен не изменяются, но частично снимаются остаточные напряжения. Эти напряжения возникают из-за неоднородного нагрева или охлаждения (при литье и обработке давлением), неоднородности распределения деформаций при пластическом деформировании. Остаточные напряжения создают системы взаимно уравнивающихся сил и находятся в заготовке, не нагруженной внешними силами. Снятие остаточных напряжений при возврате почти не изменяет механических свойств металла, но влияет на некоторые его физико-химические свойства. Горячей деформацией называют деформацию, характеризующуюся соотношением скоростей деформирования и рекристаллизации, при котором рекристаллизация успевает произойти во всем объеме заготовки и микроструктура после обработки давлением оказывается равноосной, без следов упрочнения.

Чтобы обеспечить условия протекания горячей деформации, приходится с увеличением ее скорости повышать температуру нагрева заготовки (для увеличения скорости рекристаллизации).

Если металл по окончании деформации имеет структуру, не полностью рекристаллизованную, со следами упрочнения, то такая деформация называется неполной горячей деформацией. Неполная горячая деформация приводит к получению неоднородной структуры, снижению механических свойств и пластичности.

При горячей деформации сопротивление деформированию примерно в 10 раз меньше, чем при холодной деформации, а отсутствие упрочнения приводит к тому, что сопротивление деформированию (предел текучести) незначительно изменяется в процессе обработки давлением. Этим обстоятельством объясняется в основном то, что горячую обработку применяют для изготовления крупных деталей, так как при этом требуются меньшие усилия деформирования (менее мощное оборудование).

При горячей деформации пластичность металла выше, чем при холодной деформации.

Влияние холодной деформации на свойства металла можно использовать для получения наилучших эксплуатационных свойств деталей, а управление изменением свойств

в требуемом направлении и на желаемую величину может быть достигнуто выбором рационального сочетания холодной и горячей деформации, а также числа и режимов термических обработок в процессе изготовления детали.

35. Возврат, первичная и собирательная рекристаллизация. Рекристаллизационный отжиг

Около 10–15 % всей энергии, затраченной на пластическую деформацию, поглощается металлом и накапливается в нем в виде повышенной потенциальной энергии смещенных атомов, напряжений. Деформированный металл находится в неравновесном, неустойчивом состоянии. Переход к более равновесному состоянию связан с уменьшением искажений в кристаллической решетке, снятием напряжений, что определяется возможностью перемещения атомов. При низких температурах подвижность атома мала, а в состоянии наклепа может сохраняться неограниченно долго.

С повышением температуры диффузия атомов увеличивается и в металле начинают развиваться процессы, приводящие его к более равновесному состоянию. Это явление возврата.

Первая стадия возврата – отдых, наблюдается при невысоком нагреве. При отдыхе происходит уменьшение количества вакансий, уменьшение плотности дислокаций, частичное снятие напряжений.

Вторая стадия возврата – полигонизация, деление зерен на части – полигоны (субзерна).

Полигонизация происходит в результате скольжения и переползания дислокаций, вследствие чего дислокации одного знака образуют «стенки», разделяющие зерна на полигоны. В полигонизованном состоянии кристалл обладает меньшей энергией по сравнению с деформированным, и образование полигонов является энергетически выгодным процессом. Температура начала полигонизации не является константой. Скорость полигонизации зависит от природы металла, степени предшествующей деформации, содержания примесей. При возврате заметных изменений в микроструктуре не наблюдается, металл сохраняет волокнистое строение. При этом твердость и прочность несколько понижаются, а пластичность возрастает.

Рекристаллизация. При нагреве до достаточно высоких температур подвижность атомов возрастает и происходит процесс рекристаллизации.

Рекристаллизацией называется процесс образования и роста новых зерен при нагреве наклепанного металла до определенной температуры. Этот процесс протекает в две стадии. Различают рекристаллизацию первичную (обработки) и собирательную.

Рекристаллизация первичная (обработки) заключается в образовании зародышей и росте новых равновесных зерен с неискаженной кристаллической решеткой. Наиболее вероятно, что новые зерна возникают у границ блоков и зерен, пакетов скольжения внутри зерен, где решетка металла была наиболее сильно искажена при пластической деформации. Количество новых зерен постепенно увеличивается и, в конечном счете, в структуре не остается старых деформированных зерен.

Находящийся в неустойчивом состоянии деформированный металл стремится перейти в устойчивое состояние с наименьшим запасом свободной энергии. Этому состоянию соответствует процесс образования новых зерен с неискаженной кристаллической решеткой. В местах, где решетка наиболее искажена и, следовательно, наименее устойчива, при нагреве происходит перемещение атомов, восстановление решетки и возникновение зародышей новых равновесных зерен. Зародышами новых зерен могут быть и объемы (блоки) с наименее искаженной решеткой, куда переходят атомы из соседних объемов с искаженной решеткой.

Собирательная рекристаллизация – вторая стадия рекристаллизационного процесса заключается в росте образовавшихся новых зерен. Движущей силой собирательной

рекристаллизации является поверхностная энергия зерен. Рост зерен объясняется тем, что при наличии большого количества мелких зерен их общая поверхность очень велика, поэтому металл обладает большим запасом поверхностной энергии. При укрупнении зерен общая протяженность их границ становится меньше, что соответствует переходу металла в более равновесное состояние.

С началом рекристаллизации происходит существенное изменение свойств металла, противоположное изменению свойств при наклепе. Понижается прочность металла. Увеличивается пластичность, вязкость, теплопроводность и другие свойства, понижающиеся при наклепе. На свойства металла большое влияние оказывает размер зерен, получившихся при рекристаллизации. Величина зерен возрастает с увеличением времени выдержки. Наиболее крупные зерна образуются после незначительной предварительной деформации. Такая степень деформации называется критической.

Рекристаллизационный отжиг. Этот вид отжига производится с целью устранения наклепа холоднодеформированного металла. Наклепанный металл очень тверд и хрупок, его кристаллическая решетка находится в неравновесном состоянии, обладая большим запасом избыточной свободной энергии. В сильно наклепанном металле из-за слияния дислокаций в местах их скопления наблюдаются опасные дефекты – зародыши трещин. В ряде случаев наклеп приходится устранять. Для этого требуется нагрев, стимулирующий диффузионные процессы. Однако рекристаллизационный отжиг из-за значительно более низкой температуры и намного меньшей продолжительности его проведения при практически одинаковых результатах более предпочтителен.

36. Отжиг II-го рода. Отжиг и нормализация сталей; режимы и назначение отжига и нормализации

Отжигом называют нагревание и медленное охлаждение стали. Отжиг второго рода – изменение структуры сплава с целью получения равновесных структур; к отжигу второго рода относится полный, неполный и изотермический отжики.

Перекристаллизационный отжиг основан на фазовой перекристаллизации, т. е. является отжигом II рода. Основное его назначение – полное изменение фазового состава. Температура нагрева и время выдержки должны обеспечить нужные структурные превращения, скорость охлаждения выбирают такой, чтобы успели произойти обратные диффузионные фазовые превращения. После отжига получают однородную мелкозернистую структуру, твердость понижается, пластичность повышается и отжиг II рода применяют в качестве предварительной термической обработки и перед обработкой стальных деталей на металлорежущих станках.

В зависимости от температуры нагрева различают полный и неполный отжиг.

Полный отжиг применяют для доэвтектоидной стали. Изделия нагревают, чтобы обеспечить полную перекристаллизацию – превращение исходной ферритно-перлитной структуры в аустенит. Назначение его – улучшение структуры стали для облегчения последующей обработки резанием, штамповкой или закалкой, а также получение мелкозернистой равновесной перлитной структуры в готовой детали.

Неполный отжиг связан с фазовой перекристаллизацией, он применяется после горячей обработки давлением, когда у заготовки мелкозернистая структура.

После охлаждения получится грубая структура, состоящая из крупных зерен феррита и перлита. Сталь обладает пониженной пластичностью. Получению зернистого цементита способствует предшествующая отжигу горячая пластическая деформация, при которой цементитная сетка дробится. Сталь с зернистым цементитом лучше обрабатывается режущим инструментом и приобретает хорошую структуру после закалки.

С целью экономии времени проводят изотермический отжиг. При изотермическом отжиге в процессе выдержки происходит выравнивание температуры по сечению изделия. Это способствует получению более однородной структуры и однородных свойств.

Легированные стали подвергают такому отжигу. При отжиге легированных сталей увеличивается не только продолжительность нагрева и выдержки, но и продолжительность охлаждения. Высоколегированные стали охлаждают с малой скоростью вследствие большей устойчивости легированного аустенита. Их твердость остается после отжига высокой, что ухудшает обрабатываемость режущим инструментом.

Нормализацией называют термическую обработку стали, при которой изделие нагревают до аустенитного состояния и охлаждают на спокойном воздухе. Отличие нормализации от полного отжига для доэвтектоидных сталей заключается только в скорости охлаждения. В результате нормализации получается более тонкое строение эвтектоида, уменьшаются внутренние напряжения, устраняются пороки, возникшие в процессе предшествующих обработок изделий. Твердость и прочность выше, чем после отжига. Нормализацию применяют как промежуточную операцию, улучшающую структуру. Особенности режима этого вида термообработки являются температура нагрева и охлаждение на спокойном воздухе. Эти особенности обусловлены специфическими целями нормализации. Применительно к доэвтектоидным сталям, особенно низкоуглеродистым, нормализация за более короткое время и при большей простоте режима охлаждения позволяет получить те же результаты, что и при отжиге.

Охлаждение на воздухе обеспечивает высокую степень переохлаждения аустенита, чем при отжиге, продукты его распада оказываются более дисперсными, а плотность генерируемых дислокаций приближается к 10^8 см^{-2} , вследствие этого нормализацией можно получить более благоприятную мелкозернистую структуру стали, обладающую повышенными прочностными свойствами.

В ряде случаев, когда от материала изделия не требуется повышенных прочностных свойств, нормализация заменяет закалку. Особенно это касается деталей из низкоуглеродистой стали, для которых применение закали исключается из-за очень высокой критической скорости закали. При нормализации заэвтектоидных сталей из-за ускоренного выделения из аустенита избыточного (вторичного) цементита нежелательная цементитная сетка вокруг перлитных зерен не образуется. В связи с этим одной из целей нормализации является разрушение упомянутой сетки у заэвтектоидных сталей.

Рекристаллизационный отжиг (рекристаллизация) стали происходит при температурах $500\text{--}550^\circ\text{C}$; отжиг для снятия внутренних напряжений – при температурах $600\text{--}700^\circ$. Эти виды отжига снимают внутренние напряжения в отливках от неравномерного охлаждения их частей и в заготовках, обработанных давлением при температурах ниже критических.

Диффузионный отжиг применяется в случаях, когда в стали наблюдается внутрикристаллическая ликвация. Выравнивание состава в зернах аустенита достигается диффузией углерода и других примесей в твердом состоянии, наряду с самодиффузией железа. В результате сталь становится однородной по составу (гомогенной), поэтому диффузионный отжиг называют также гомогенизацией.

Температура гомогенизации должна быть достаточно высокой, но нельзя допускать пережога зерен.

37. Отпуск сталей. Превращения в стали при отпуске, изменение микроструктуры и свойств

Отпуском называется операция нагрева закаленной стали для уменьшения остаточных напряжений и придания комплекса механических свойств, которые необходимы для долговечней эксплуатации изделия. Отпуск производится путем нагрева деталей, закаленных на мартенсит до температуры ниже критической. При этом в зависимости от температуры нагрева могут быть получены состояния мартенсита, троостита или сорбита отпуска. Эти состояния отличаются от состояний закали по структуре и свойствам: при закалке цементит (в троостите и сорбите) получается в форме удлиненных пластинок, как в пластинчатом перлите. А при отпуске он получается зернистым или точечным, как в зернистом перлите.

При отпуске закаленной на мартенсит стали в ней происходят превращения, которые приводят к распаду мартенсита и образованию равновесного структурно-фазового состава. Интенсивность и результат этих превращений зависят от температуры отпуска. Температуру отпуска выбирают в зависимости от функционального эксплуатационного назначения изделия.

В процессе многолетней эксплуатационно-производственной практики сложились три основные группы изделий, требующие для их успешной эксплуатации «своих» специфических комплексов вязкостно-прочностных свойств.

Первая группа: режущие измерительные инструменты и штампы для холодной штамповки. От их материала требуются высокая твердость и небольшой запас вязкости. Вторую группу составляют пружины и рессоры, от материала которых требуется сочетание высокого предела упругости с удовлетворительной вязкостью. Третья группа включает большинство деталей машин, испытывающих статические и особенно динамические или циклические нагрузки. При длительной эксплуатации изделий от их материала требуется сочетание удовлетворительных прочностных свойств с максимальными показателями вязкости.

В зависимости от температуры нагрева существует три вида отпуска: низкотемпературный (низкий), среднетемпературный (средний) и высокотемпературный (высокий). Преимуществом точечной структуры является более благоприятное сочетание прочности и пластичности.

При низком отпуске (нагрев до температуры 200–300°) в структуре стали в основном остается мартенсит, кроме того, начинается выделение карбидов железа из твердого раствора углерода в δ -железе и начальное скопление их небольшими группами. Это влечет за собой некоторое уменьшение твердости и увеличение пластических и вязких свойств стали, а также уменьшение внутренних напряжений в деталях.

Для низкого отпуска детали выдерживают в течение определенного времени обычно в масляных или соляных ваннах. Низкий отпуск применяется для режущего, измерительного инструмента и зубчатых колес. При среднем ³⁷⁶ и высоком отпуске сталь из состояния мартенсита переходит в состояние троостита или сорбита. Чем выше отпуск, тем меньше твердость отпущенной стали и тем больше ее пластичность и вязкость. При высоком отпуске сталь получает сочетание механических свойств, повышение прочности, пластичность и вязкость, поэтому высокий отпуск стали после закалки ее на мартенсит называют кузнечным штампом, пружин, рессор, а высокий – для многих деталей, подверженных действию высоких напряжений.

Для некоторых марок стали отпуск производят после нормализации. Этот относится к мелкозернистой легированной доэвтектоидной стали (особенно никелевой), имеющей высокую вязкость и поэтому плохую обрабатываемость режущим инструментом. Для улучшения обрабатываемости производят нормализацию стали при повышенной температуре (до 950–970°), в результате чего она приобретает крупную структуру (определяющую лучшую обрабатываемость) и одновременно повышенную твердость (ввиду малой критической скорости закалки никелевой стали). С целью уменьшения твердости производят высокий отпуск этой стали.

Цель отпуска – не просто устранить внутренние напряжения в закаленной стали. При низком отпуске мартенсит частично освобождается от пересыщающих его решетку атомов углерода, основу мартенсита отпуска составляет пересыщенный твердый раствор углерода.

Среднетемпературный (средний) отпуск производится при температуре от 350 до 450 °С. При таком нагреве завершается распад мартенсита, приводящий к образованию нормальных по составу и внутреннему строению феррита и цементита. Вследствие недостаточной интенсивности диффузионных процессов размер зерен образующихся фаз оказывается очень малым.

Высокотемпературный (высокий) отпуск осуществляется при 500–650 °С. При таких условиях нагрева при усилившихся диффузионных процессах происходит образование более

крупных зерен феррита и цементита, сопровождающееся снижением плотности дислокаций и полным устранением остаточных напряжений.

Получающийся при высоком отпуске продукт распада мартенсита, называемый сорбитом отпуска, обладает максимальной для стали вязкостью.

Такой комплекс является идеальным для деталей машин, подвергающихся динамическим нагрузкам. Благодаря этому преимуществу термическую обработку, сочетающую закалку и высокий отпуск, издавна называют улучшением.

38. Химико-термическая обработка стали. Назначение, виды и общие закономерности. Диффузионное насыщение сплавов металлами и неметаллами

Химико-термической обработка (ХТО) – обработка с сочетанием термического и химического воздействия для изменения состава, структуры и свойств поверхностного слоя детали в необходимом направлении, при котором происходит поверхностное насыщение металлического материала соответствующим элементом (C, T, B, Al, Cr, Si, T и др.) путем его диффузии в атомарном состоянии из внешней среды при высокой температуре.

ХТО металлов и сплавов как с целью их поверхностного упрочнения, так и для защиты от коррозии повышает надежность и долговечность деталей машин.

ХТО включает основные взаимосвязанные стадии:

- 1) образование активных атомов в насыщающей среде и диффузию их к поверхности обрабатываемого металла;
- 2) адсорбционно-образовавшихся активных атомов поверхностью насыщения;
- 3) диффузионно-перемещение адсорбированных атомов внутри металла. Развитие процесса диффузии приводит к образованию диффузионного слоя – материала детали у поверхности насыщения, отличающегося от исходного по химическому составу, структуре и свойствам.

Материал детали под диффузионным слоем, не затронутый воздействием насыщающей активной среды, называется сердцевиной. Общая толщина диффузионного слоя – кратчайшее расстояние от поверхности насыщения до сердцевины. Эффективная толщина диффузионного слоя – кратчайшее расстояние от поверхности насыщения до мерного участка, которое отличается установленным предельным номинальным значением базового параметра.

Базовый параметр диффузионного слоя – параметр материала, служащий критерием изменения качества в зависимости от расстояния от поверхности насыщения. Переходная зона диффузионного слоя – прилегающая к сердцевине внутренняя часть диффузионного слоя, протяженность которой определяется разностью общей и эффективной толщин.

Этап ХТО – диффузия. В металлах при образовании твердых растворов замещения диффузия в основном происходит по вакансионному механизму. При образовании твердых растворов внедрения реализуется механизм диффузии по междоузлиям.

Цементация стали – ХТО, заключающаяся в диффузионном насыщении поверхностного слоя стали углеродом при нагревании в карбюризаторе, проводят при 930–950 °С, когда устойчив аустенит, растворяющий углерод в больших количествах.

Для цементации используют низкоуглеродистые, легированные стали. Детали поступают на цементацию после механической обработки с припуском на шлифование.

Основные виды цементации – твердая и газовая. Газовая цементация является более совершенным технологическим процессом, чем твердая. В случае газовой цементации можно получить заданную концентрацию углерода в слое; сокращается длительность процесса; обеспечивается возможность полной механизации и автоматизации процесса; упрощается термическая обработка деталей.

Термическая обработка необходима чтобы: исправить структуру и измельчить зерно сердцевины и цементованного слоя; получить высокую твердость в цементованном слое и

хорошие механические свойства сердцевины. После цементации термическая обработка состоит из двойной закалки и отпуска. Недостаток такой термообработки – сложность технологического процесса, возможность окисления и обезуглероживания.

Заключительная операция – низкий отпуск при 160–180 °С, переводящий мартенсит закалки в поверхностном слое в отпущенный мартенсит, снимающий напряжения и улучшающий механические свойства.

Азотирование стали – ХТО, заключающаяся в диффузионном насыщении поверхностного слоя стали азотом при нагревании в соответствующей среде. Твердость азотированного слоя стали выше, чем цементованного, и сохраняется при нагреве до высоких температур (450–500 °С), тогда как твердость цементованного слоя, имеющего мартенситную структуру, сохраняется до 200–225 °С. Азотирование чаще проводят при 500–600 °С.

Диффузионное насыщение сплавов металлами и неметаллами

Борирование – насыщение поверхности металлов и сплавов бором с целью повышения твердости, износостойкости, коррозионной стойкости. Борированию подвергают стали перлитного, ферритного и аустенитного классов, тугоплавкие металлы и никелевые сплавы.

Силицирование. В результате диффузионного насыщения поверхности кремнием повышаются коррозионная стойкость, жаростойкость, твердость и износостойкость металлов и сплавов.

Хромирование – насыщение поверхности изделий хромом. Диффузионному хромированию подвергают чугуны, стали различных классов, сплавы на основе никеля, молибдена, вольфрама, ниобия, кобальта и метал-локерамические материалы. Хромирование производят в вакуумных камерах при 1420 °С.

Алитирование – процесс диффузионного насыщения поверхности изделий алюминием с целью повышения жаростойкости, коррозионной и эрозионной стойкости. При алитировании железа и сталей наблюдается плавное падение концентрации алюминия по толщине слоя.

Назначение поверхностной закалки – повышение твердости, износостойкости и предела выносливости поверхности обрабатываемых изделий. При этом сердцевина остается вязкой и изделие воспринимает ударные нагрузки.

39. Старение. Назначение, изменение микроструктуры и свойств сплавов при старении

Отпуск и старение – это разновидности термической обработки, в результате которой происходит изменение свойств закаленных сплавов.

Термин отпуск принято применять только к тем сплавам, которые были подвергнуты закалке с полиморфным превращением, а термин старение – в случае закалки без полиморфного превращения (после такой закалки фиксируется пересыщенный твердый раствор).

Цель отпуска стали – улучшение ее свойств. Отпуск стали смягчает действие закалки, уменьшает или снимает остаточные напряжения, повышает вязкость, уменьшает твердость и хрупкость стали. Отпуск производится путем нагрева деталей, закаленных на мартенсит до температуры ниже критической.

В отличие от отпуска после старения увеличиваются прочность, твердость, уменьшается пластичность.

Главный процесс при старении – это распад пересыщенного твердого раствора, который получается в результате закалки.

Таким образом, старение сплавов связано с переменной растворимостью избыточной фазы, а упрочнение при старении происходит в результате дисперсных выделений при распаде пересыщенного твердого раствора и возникающих при этом внутренних напряжений.

В стареющих сплавах выделения из пересыщенных твердых растворов встречаются в следующих основных формах: тонкопластинчатой (дискообразной), равноосной (обычно

сферической или кубической) и игольчатой. Энергия упругих искажений минимальна для выделений в форме тонких пластин – линз. Основное назначение старения – повышение прочности и стабилизация свойств.

Различают старение естественное, искусственное и после пластической деформации.

Естественное старение – это самопроизвольное повышение прочности (и уменьшение пластичности) закаленного сплава, которое происходит в процессе его выдержки при нормальной температуре. Нагрев сплава увеличивает подвижность атомов, что ускоряет процесс.

Твердые растворы при низких температурах чаще всего распадаются до стадии образования зон. Данные зоны являются дисперсными областями, которые обогащены избыточным компонентом. Они сохраняют ту кристаллическую структуру, которую имел первоначальный раствор. Зоны носят название в честь Гинье и Престона. При использовании электронной микроскопии данные зоны можно наблюдать в сплавах Al – Ag, которые имеют вид сферических частиц диаметром ~10А. Сплавы Al – Cu имеют зоны-пластины, которые имеют толщину <10А.

Искусственное старение – это повышение прочности, происходящее в процессе выдержки при повышенных температурах. Если закаленный сплав, имеющий структуру пересыщенного твердого раствора, подвергнуть пластической деформации, то это ускоряет протекающие при старении процессы. Этот вид старения носит название деформационного. Термическая обработка алюминиевых сплавов состоит из двух циклов – закалки и старения. Старение охватывает все процессы, происходящие в пересыщенном твердом растворе, – процессы, подготавливающие выделение, и процессы выделения. Превращение, при котором происходят только процессы выделения, называется дисперсионным твердением.

Для практики большое значение имеет инкубационный период – время, в течение которого в закаленном сплаве совершаются подготовительные процессы, время, в течение которого закаленный сплав сохраняет высокую пластичность. Это позволяет проводить холодную деформацию непосредственно после закалки.

Если при старении происходят только процессы выделения, без сложных подготовительных процессов, то такое явление называют дисперсионным твердением.

Практическое значение явления старения сплавов очень велико. Так, после старения увеличивается прочность и уменьшается пластичность низкоуглеродистой стали в результате дисперсных выделений в феррите цементита третичного и нитридов.

Старение является основным способом упрочнения алюминиевых сплавов, некоторых сплавов меди, а также многих жаропрочных и других сплавов. В настоящее время все более широко используют мартенситностареющие сплавы.

Сегодня достаточно часто вместо термина «естественное старение» используют термин – «низкотемпературное старение», а вместо «искусственного старения» – «высокотемпературное старение». Самыми первыми металлами, которые были упрочнены при помощи старения, были алюминиевые сплавы. Упрочнение проводилось при температурах выше 100 °С.

В разных температурных интервалах наблюдаются различия в процессе распада. Поэтому для получения оптимального комплекса свойств в сплавах применяется сложное старение, проходящее в определенной последовательности, при низких и более высоких температурах.

Старение сплавов, вызванное процессом распада пересыщенного твердого раствора, является наиболее важным. После охлаждения сплавов появляется состояние пересыщения твердого раствора. Это вызвано тем, что при высокой температуре увеличивается растворимость примесей и легирующих компонентов.

40. Классификация и маркировка легированных сталей. Влияние легирующих элементов на превращения, микроструктуру и свойства стали; принципы разработки легированных сталей

Легированная сталь – это сталь, которая содержит кроме углерода и обычных примесей, другие элементы, улучшающие ее свойства.

Для легирования стали применяют хром, никель, марганец, кремний, вольфрам, молибден, ванадий, кобальт, титан, алюминий, медь и другие элементы. Марганец считается легирующим компонентом лишь при содержании его в стали более 1 %, а кремний – при содержании более 0,8 %.

В сталь вводятся легирующие элементы, которые изменяют ее механические, физические и химические свойства, а также в зависимости от назначения стали в нее вводят элементы, изменяющие свойства в нужном направлении.

Легированная сталь многих марок приобретает высокие физико-механические свойства только после термической обработки.

По суммарному количеству легирующих элементов, которые содержатся в стали, она делится на низколегированную (суммарное содержание легирующих элементов менее 2,5 %) среднелегированную (от 2,5 до 10 %) и высоколегированную (более 10 %).

Недостатком углеродистой стали является то, что эта сталь не обладает нужным сочетанием механических свойств. С увеличением содержания углерода увеличиваются прочность и твердость, но одновременно резко уменьшаются пластичность и вязкость, растет хрупкость. Режущие инструменты из углеродистой стали очень хрупки и непригодны для выполнения операции с ударной нагрузкой на инструмент.

Углеродистая сталь часто не отвечает требованиям ответственного машиностроения и инструментального производства. В таких случаях необходимо применять легированную сталь.

Легирующие элементы по отношению к углероду разделяются на две группы:

1) элементы, которые образуют с углеродом устойчивые химические соединения – карбиды (хром, марганец, молибден, вольфрам, титан); карбиды могут быть простые (например, Cr_4C) или сложные легированные (например, $(\text{FeCr})_7\text{C}_3$); твердость их обычно выше твердости карбида железа, а хрупкость ниже;

2) элементы, не образующие в присутствии железа карбидов и входящие в твердый раствор – феррит (никель, кремний, кобальт, алюминий, медь).

По назначению легированную сталь делят на конструкционную, инструментальную и сталь с особыми физикохимическими свойствами.

Конструкционную сталь применяют для изготовления деталей машин; она делится на цементируемую (подвергаемую цементации) и улучшаемую (подвергаемую улучшению – закалке и высокому отпуску). К сталям с особыми свойствами относят: нержавеющие, жаростойкие, кислотостойкие, износостойкие, с особыми магнитными и электрическими свойствами.

Маркировка по ГОСТ для обозначения легирующих элементов: Х – хром, Н – никель, Г – марганец, С – кремний, В – вольфрам, М – молибден, К – кобальт.

Для стали конструкционной легированной принята маркировка, по которой первые две цифры показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента, буквы – наличие соответствующих легирующих элементов, а цифры, следующие за буквами, – процентное содержание этих компонентов в стали. Если после какой-либо буквы отсутствует цифра, то содержание данного элемента в стали примерно равно 1 %. Если цифра отсутствует, то сталь содержит около или более 1 % углерода.

Для обозначения высококачественной стали в конце маркировки добавляют букву А. Высококачественная сталь содержит меньше серы и фосфора, чем обычная качественная.

Стали специального назначения имеют особую маркировку из букв, которые ставятся впереди: Ш – шарикоподшипниковая, Р – быстрорежущая, Ж – хромовая нержавеющая ферритного класса, Я – хромоникелевая нержавеющая аустенитного класса, Е – электротехническая сталь.

Многие стали можно отнести к машиностроительным материалам, которые обладают

достаточно высокими прочностными качествами. К таким сталям относятся: углеродистые стали, низколегированные стали, высокопрочные среднелегированные стали, высокопрочные высоколегированные (мартенситно – стареющие) стали.

Все легированные стали можно разделить на группы в зависимости от четырех признаков: по равновесной структуре стали, по структуре после охлаждения стали на воздухе, по составу стали, по назначению стали.

В зависимости от того, какое количество углерода содержится в стали, различают следующие виды: малоуглеродистые до 0.1–0.2 %, среднеуглеродистые и высокоуглеродистые 0.6–1.7 % С.

Структура сталей может быть доэвтектоидной (феррит + перлит), эвтектоидной (перлит) и заэвтектоидной (перлит + цементит) стали.

Существует три способа выплавки стали: кипящий, полуспокойный, спокойный способы. При кипящем способе в структуре стали содержатся в большом количестве газовые пузыри, которые являются результатом раскисления стали в изложницах и выделения CO.

Стали также получают при использовании конвертеров, электропечей, установки непрерывной разливки.

41. Конструкционные стали: строительные, машиностроительные, высокопрочные. Инструментальные стали: стали для режущего инструмента, подшипниковые, штамповые

Углеродистые инструментальные стали У8, У10, У11, У12 вследствие малой устойчивости переохлажденного аустенита имеют небольшую прокаливаемость, их применяют для инструментов небольших размеров.

Стали У10, У11, У12 применяют для режущего инструмента (сверла, напильники), У7 и У8 – для деревообрабатывающего инструмента. Стали можно использовать в качестве режущего инструмента только для резания с малой скоростью, так как их высокая твердость (У10-У12-62-63НРС) сильно снижается при нагреве выше 190–200 °С.

Легированные стали повышенной прокаливаемости, не обладающие теплостойкостью (11ХФ, 13Х, ХВСГ, 9ХС, Х, В2Ф), пригодны для резания материалов невысокой прочности, их используют для инструмента, который не подвергается в работе нагреву. Легированные стали по сравнению с углеродистыми обладают большей прокаливаемостью.

Быстрорежущие стали (Р6М5, Р12Ф3, Р8М3) обладают высокой теплостойкостью и имеют высокую твердость, прочность и износостойкость при повышенных температурах, возникающих в режущей кромке при резании с большой скоростью. Основными легирующими элементами этих сталей являются вольфрам, молибден, кобальт и ванадий.

Углеродистая сталь разделяется на конструкционную (мягкая и сталь средней твердости) и инструментальную (твердую) сталь.

Конструкционная сталь по ГОСТ разделяется на:

1) сталь углеродистая обыкновенного качества, горячекатаная, выплавляемая мартеновским или бессемеровским способом;

2) сталь углеродистая качественная машиностроительная, горячекатаная и кованая, выплавляемая в мартеновских или электрических печах. Эта сталь используется для изготовления более ответственных деталей машин и механизмов.

Для изготовления ответственных деталей машин и металлических конструкций применяют конструкционную легированную сталь.

Тройная легированная сталь. Хром в качестве легирующего компонента способствует увеличению прочности стали и является относительно дешевым. Хром сообщает стали хорошую сопротивляемость износу, а с увеличением количества углерода – высокую твердость вследствие образования карбидов.

Низко- и среднелегированная хромовая сталь широко применяется в авиа-, авто- и тракторостроении, а также в других отраслях машиностроения для изготовления осей, валов,

зубчатых колес и других деталей.

Хромовая сталь при содержании 0,4–1,65 % Cr и 0,95–1,15 % C образует группу шарикоподшипниковых сталей. Низколегированную хромовую сталь применяют также для изготовления инструментов. Высоколегированная хромовая сталь является нержавеющей и отличается стойкостью против коррозии не только на воздухе, но и в агрессивных средах. Она сохраняет прочность при повышенных температурах и применяется для изготовления лопаток турбин, цилиндров высокого давления, труб пароперегревателей.

Никель – прекрасный легирующий элемент, но он очень дорог и дефицитен. Его стараются применять в сочетании с хромом и марганцем. Никель увеличивает прочность, вязкость и твердость (после закалки) стали, мало снижая пластичность, сильно повышает прокаливаемость и коррозионную стойкость. После закалки и низкого отпуска никелевая сталь имеет высокую твердость, но не обладает хрупкостью.

Низко- и среднелегированную никелевую сталь применяют в автостроении и ответственном машиностроении. Высоколегированная никелевая сталь отличается особыми свойствами. При содержании кремния свыше 0,8 % повышается прочность, упругость и твердость стали, снижая ее вязкость.

Низкоуглеродистую кремнистую сталь применяют для сооружения мостов и не подвергают термической обработке.

Сталь 55C2, 6 °C2 применяют для изготовления пружин и рессор. После закалки и отпуска эта сталь отличается высоким пределом прочности и упругости.

Марганец повышает твердость и прочность стали, увеличивает ее прокаливаемость и улучшает свариваемость. Легированной марганцевой сталью называют сталь, которая содержит не менее 1 % Mn. В практике применяют низколегированную и высоколегированную марганцевую сталь.

Широкое распространение получила высоколегированная сталь марки Г13, которая обладает очень высокой вязкостью и сопротивляемостью ударному истиранию: из нее изготавливают стрелки и крестовины железных дорог, козырьки землечерпательных машин.

Инструментальная легированная сталь. Для каждого вида инструмента необходимо применять сталь, наиболее подходящую по своим качествам к данным условиям работы.

Низколегированная сталь для режущего инструмента по своей режущей способности не отличается от углеродистой стали и применяется при небольших скоростях резания.

Распространенные марки низколегированной стали для режущих инструментов являются:

- 1) сталь марки X – хромовая (для изготовления резцов, сверл);
- 2) сталь марки 9XC – хромокремнистая (для изготовления резцов, сверл);
- 3) сталь марки B1 – вольфрамовая (для изготовления спиральных сверл, разверток).

42. Нержавеющие, теплостойкие и жаропрочные, хладостойкие, электротехнические и износостойкие стали

Коррозионная стойкость стали повышается, если содержание углерода снизить до минимально возможного количества и ввести легирующий элемент, образующий с железом твердые растворы, в таком количестве, при котором повысится электродный потенциал сплава. Сталь, стойкую против атмосферной коррозии, называют нержавеющей. Сталь или сплав, имеющие высокую стойкость при коррозионном воздействии кислот, солей, щелочей и других агрессивных сред, называют кислотостойкими.

Коррозия – это разрушение металлов из-за взаимодействия электрохимического взаимодействия их с окружающей средой. Конструкционные материалы обладают высокой коррозионной стойкостью. Углеродистые и низколегированные стали неустойчивы против коррозии в атмосфере, воде и других средах. Коррозионно-стойкими называют металлы и сплавы, которые способны сопротивляться коррозионному воздействию среды.

Хром – основной легирующий элемент, делающий сталь коррозионностойкой в

окислительных средах.

Жаростойкость – это способность металлов и сплавов сопротивляться коррозионному воздействию газов при высоких температурах. Коррозионное воздействие газов приводит к окислению стали при высокой температуре. На интенсивность окисления влияют состав и строение оксидной пленки. Если пленка пористая, то окисление происходит интенсивно, если плотная – замедленно или вообще прекращается.

Для получения плотной оксидной пленки, которая препятствует проникновению кислорода вглубь стали, ее легируют хромом, кремнием или алюминием. Чем больше легирующего элемента в стали, тем выше ее жаростойкость.

Теплостойкость. Для инструментального материала она определяется наивысшей температурой, при которой он сохраняет свои режущие свойства. Теплостойкость применяемых инструментальных материалов составляет от 200 до 1500 °С. По степени убывания теплостойкости материалы располагаются в следующем порядке: сверхтвердые, режущая керамика, твердые сплавы, быстрорежущие, легированные, углеродистые стали. Даже при воздействии в течение долгого времени температур высокие жаропрочные свойства должны оставаться на прежнем уровне. Металл горячих штампов должен оказывать устойчивое сопротивление отпуску.

Жаропрочность – это способность стали сопротивляться механическим нагрузкам при высоких температурах. К жаропрочным относят стали и сплавы, способные работать в нагруженном состоянии при высоких температурах в течение длительного времени. Жаропрочные стали обычно одновременно и жаростойкие.

Ползучесть – это деформация, увеличивающаяся под длительным действием постоянной нагрузки и высокой температуры. Для углеродистых и легированных конструкционных сталей ползучесть наблюдается при температурах выше 350 °С.

Ползучесть характеризуется пределом ползучести, под которым понимают напряжение, вызывающее деформацию стали на определенную величину за определенное время при заданной температуре.

Жаропрочные сплавы. Развитие жаропрочных никелевых сплавов началось с небольших добавок титана и алюминия к обычному нихрому. Добавление менее 2 % титана и алюминия без термической обработки заметно повышает показатели ползучести нихрома при температурах около 700 °С.

Жаропрочные никелевые сплавы подразделяют на деформируемые и литейные. Жаропрочные свойства деформируемых сплавов формируются при термической обработке. Литейные жаропрочные никелевые сплавы по составу сходны с деформируемыми, но обычно содержат большее количество алюминия и титана.

Хладостойкость – способность металла оказывать сопротивление деформации и разрушению, которые могут возникнуть под воздействием низких температур.

Электротехническая сталь является тонколистовой мягнитомягкой сталью. Из нее изготавливают сердечники электротехнического оборудования. В состав данной стали входит кремний. Различают холоднокатаную и горячекатаную электротехническую сталь, а также динамную и трансформаторную. Для легирования стали электротехнической используют 0,5 % Al.

Износостойкая сталь. Для деталей, работающих в условиях абразивного износа, высоких давлений и ударов (траки гусеничных машин, щеки дробилок, переводные стрелки железнодорожных и трамвайных путей), применяют высокомарганцевую литую сталь 110Г13Л аустенитной структуры, содержащую 0,9 % С и 11,5 % Мп.

В литом состоянии структура стали состоит из аустенита и карбидов типа $(Fe, Mn)_3C$, выделяющихся по границам аустенитных зерен, и ее прочность и ударная вязкость сильно снижены, поэтому литые детали подвергают закалке с нагревом до 1100 °С и охлаждению в воде. При такой температуре карбиды растворяются в аустените и сталь приобретает более устойчивую аустенитную структуру.

В условиях ударного воздействия и абразивного изнашивания в поверхностном слое

стали образуются дефекты кристаллического строения (дислокации, дефекты упаковки), что приводит к поверхностному упрочнению. Повышение твердости и износостойкости в результате наклепа возможно при ударных нагрузках и холодной пластической деформации.

Из-за наклепа сталь 110Г13Л плохо обрабатывается резанием, поэтому детали или изделия из данной стали целесообразно изготавливать литьем без последующей механической обработки. Буква Л в конце марки этой стали означает «литейная».

43. Маркировка, структура, свойства и области применения цветных металлов и их сплавов

К цветным металлам относятся медь, алюминий, магний, титан, свинец, цинк и олово, которые обладают ценными свойствами и применяются в промышленности, несмотря на относительно высокую стоимость. Иногда, когда это возможно, цветные металлы заменяют черными металлами или неметаллическими материалами (например, пластмассами).

Выделяют следующие группы цветных металлов и сплавов: легкие металлы и сплавы (с плотностью 3.0 г/см^3); медные сплавы и специальные цветные сплавы – мельхиор, незильбер, драгоценные сплавы и т. д.

В промышленности по применению медь занимает одно из первых мест среди цветных металлов. Свойства меди – высокая пластичность, электропроводность, теплопроводность, повышенная коррозионная стойкость. Медь используется в электромашиностроении, изготовлении кабелей и проводов для передачи электроэнергии и служит основой для изготовления различных сплавов, широко применяемых в машиностроении.

Алюминий – легкий металл, который обладает высокой пластичностью, хорошей электропроводностью и коррозионной стойкостью. Применяется для изготовления электропроводов, посуды, для предохранения других металлов и сплавов от окисления путем плакирования. В машиностроении чистый алюминий применяется мало, потому что имеет невысокие механические свойства. Алюминий является основой для получения многих сплавов, широко применяемых в самолетостроении, авто– и вагоностроении, приборостроении. Алюминиевые сплавы бывают деформированными (упрочняемые при помощи термической обработки и не упрочняемые) и литейными. Дюралюминий – самый распространенный сплав, который используется в деформированном виде и укрепляется при помощи термической обработки.

Магний является наиболее распространенным металлом, имеет серебристо-белый цвет. Большое преимущество магния состоит в том, что это очень легкий металл. Главным недостатком является его малая стойкость против коррозии. Чистый магний не нашел распространения в технике, но применяется в качестве основы для производства легких сплавов.

Установлены следующие марки цветных металлов (ГОСТ):

алюминий – АВ1, АВ2, АОО, АО, А1, А2 и А3;

медь – МО, М1, М2, МЭ, М4;

олово – 01, 02, ОЭ и 04; свинец – СВ, СО, С1, С2, С3, С4;

цинк – ЦВ, ЦО, Ц1, Ц2, Ц3, Ц4;

магний – Мг1, Мг2.

Латуни. По сравнению с чистой медью латуни имеют большую прочность, пластичность и твердость, они более жидкотекучи и коррозионностойки.

Кроме простой латуни, применяются специальные латуни с добавками железа, марганца, никеля, олова, кремния. Количество легирующих компонентов в специальных латунях не превышает 7–8%. Специальные латуни имеют повышенные механические свойства; некоторые из них по прочности не уступают среднеуглеродистой стали.

По ГОСТу латуни обозначаются буквой Л и цифрой, которая указывает количество меди в сплаве.

Обозначение легирующих компонентов следующее: Ж – железо; Н – никель; О – олово;

К – кремний; С – свинец. Количество легирующего компонента указывается цифрами.

Латуни бывают литейные (применяемые для фасонного литья) и подвергаемые обработке давлением. Латунь применяют для изготовления листов, проволоки, гильз, штампованной арматуры, посуды.

Бронзы бывают: оловянные, алюминиевые, кремнистые, никелевые. Оловянные бронзы обладают высокой коррозионной стойкостью, хорошей жидкотекучестью и повышенными антифрикционными свойствами. Из них изготавливают отливки. Простые оловянные бронзы применяются редко, так как введением дополнительных элементов (цинка, свинца, никеля) можно достигнуть лучших свойств при меньшем содержании дефицитного олова.

По ГОСТу оловянные бронзы маркируются буквами БрО и цифрой, которая показывает содержание олова; последующие буквы и цифры показывают наличие и количество в бронзе дополнительных элементов. Для обозначения дополнительных элементов применяют те же буквы, что и при маркировке специальной латуни; цинк обозначается буквой Ц, а фосфор буквой Ф.

Олово – дорогой металл и в практике применяется редко. Заменителями оловянной бронзы являются алюминиевая, кремнистая, марганцовая и другие бронзы.

Алюминиевая бронза применяется с содержанием до 11 % Al. По структуре бронза в основном (до 9,7 % Al) однофазная и представляет твердый раствор алюминия в меди. По механическим свойствам алюминиевая бронза лучше оловянной, она обладает пластичностью, коррозионной стойкостью и износостойкостью.

Недостаток – большая усадка при охлаждении от жидкого состояния, а также в легком образовании окислов алюминия в жидкой бронзе, что ухудшает ее жидкотекучесть. Дополнительные элементы (железо, марганец) повышают ее механические свойства. Кремнистая бронза относится к однородным сплавам – твердым растворам, обладает высокими механическими и литейными свойствами. Заменяет оловянную бронзу. Для повышения свойств в кремнистые бронзы вводятся марганец, никель.

44. Алюминий; влияние примесей на свойства алюминия; деформируемые и литейные алюминиевые сплавы

Алюминий отличают низкая плотность, высокие тепло– и электропроводность, хорошая коррозионная стойкость во многих средах за счет образования на поверхности металла плотной оксидной пленки Al_2O_3 . Технический отожженный алюминий АДМ упрочняется холодной пластической деформацией.

Алюминий высокопластичен и легко обрабатывается давлением, однако при обработке резанием возникают осложнения, одной из причин которых является налипание металла на инструмент.

В зависимости от того, какие примеси присутствуют в алюминии, наблюдаются изменения его коррозионных, физических, механических и технологических свойств. Большинство примесей отрицательно сказывается на электропроводности алюминия. Наиболее распространенные примеси: железо, кремний. Железо, наряду с электропроводностью, снижает пластичность и коррозионную стойкость, повышает прочностные свойства алюминия. Присутствие железа в сплавах алюминия с кремнием и магнием отрицательно сказывается на свойствах сплава. Только в тех сплавах алюминия, где присутствует никель, железо считается полезной примесью.

Наиболее распространенная примесь в алюминиевых сплавах – кремний. Данный металл, а также медь, магний, цинк, марганец, никель и хром вводят в алюминиевые сплавы как основные компоненты. Соединения $CuAl_2$, Mg_2Si , $CuMgAl_2$ – эффективно упрочняют алюминиевые сплавы.

Основные легирующие элементы в алюминиевых сплавах. Марганец повышает коррозионную стойкость. Кремний является основным легирующим элементом в ряде литейных алюминиевых сплавов (силуминов), поскольку он участвует в образовании

эвтектики.

Ni, Ti, Cr, Fe повышают жаропрочность сплавов, затормаживая процессы диффузии и образуя стабильные сложнолегированные упрочняющие фазы. Литий в сплавах способствует возрастанию их модуля упругости. Вместе с тем магний и марганец снижают тепло- и электропроводность алюминия, а железо – его коррозионную стойкость.

Маркировка алюминиевых сплавов. В настоящее время одновременно применяют две маркировки сплавов: старую буквенно-цифровую и новую цифровую. Наряду с этим имеется буквенно-цифровая маркировка технологической обработки полуфабрикатов и изделий, качественно отражающая механические, химические и другие свойства сплава.

Классификация алюминиевых сплавов. Алюминиевые сплавы в основном подразделяются на деформируемые и литейные, поскольку в производстве порошковых сплавов и композиционных материалов используются процессы пластической деформации и литья.

Алюминиевые сплавы разделяют по способности упрочняться термической обработкой на упрочняемые и не упрочняемые. Они могут подвергаться гомогенизационному, рекристаллизационному и разупрочняющему отжигу.

Хорошим сочетанием прочности и пластичности отличаются сплавы системы Al–Cu–Mg – дюралюмины Д1, Д16, Д18, Д19 и др. Термическая обработка упрочняет дюралюмины, повышает их свариваемость точечной сваркой. Они удовлетворительно обрабатываются резанием, но имеют склонность к межкристаллитной коррозии после нагрева. Значительное повышение коррозионной стойкости сплавов достигается плакированием.

В авиации дюралюмины применяют для изготовления лопастей воздушных винтов (Д1), силовых элементов конструкций самолетов (Д16, Д19).

Высокопрочные сплавы системы Al–Zn–Mg–Cu (В93, В95, В96Ц) характеризуются большими значениями временного сопротивления (до 700 МПа). При этом достаточная пластичность, трещиностойкость и сопротивление коррозии достигаются режимами коагуляционного ступенчатого старения (Т2, Т3), а также применением сплавов повышенной (В95кч) и особой (В95оч) чистоты.

Высокомодульный сплав 1420 обладает благодаря легированию алюминия литием и магнием (система Al–M–Li) пониженной (на 11 %) плотностью и одновременно повышенным (на 4 %) модулем упругости.

Ковочные сплавы АК6 и АК8 (система Al–M–Si–Cu) при горячей обработке давлением обладают высокой пластичностью. Они удовлетворительно свариваются, хорошо обрабатываются резанием, но под напряжением склонны к коррозии. Для обеспечения коррозионной стойкости детали из сплавов АК6 и АК8 анодируют или покрывают лакокрасочными материалами. Из ковочных сплавов изготавливают ковкой и штамповкой детали самолетов, работающие под нагрузкой. Эти сплавы способны работать при криогенных температурах.

Жаропрочные алюминиевые сплавы системы Al–Si–Mn (Д20, Д21) и Al–Cu–Mg–Fe–Ni (АК4-1) применяют для изготовления деталей (поршни, головки цилиндров, диски), работающих при повышенных температурах (до 300 °С). Жаропрочность достигается за счет легирования сплавов никелем, железом и титаном, затормаживающими диффузионные процессы и образующими сложнолегированные мелкодисперсные упрочняющие фазы, устойчивые к коагуляции при нагреве. Сплавы обладают высокой пластичностью и технологичностью в горячем состоянии.

Литейные алюминиевые сплавы.

Основные требования к сплавам для фасонного литья – это сочетание хороших литейных свойств (высокой жидкотекучести, небольшой усадки, малой склонности к образованию горячих трещин и пористости) с оптимальными механическими и химическими (сопротивление коррозии) свойствами. Лучшими литейными свойствами обладают сплавы эвтектического состава.

45. Медь; влияние примесей на свойства меди. Латунни, бронзы, медно-никелевые сплавы

Медь – это металл красного, в изломе розового цвета, имеет температуру плавления 1083° С. Кристаллическая решетка ГЦК с периодом а 0,31607 нм. Плотность меди 8,94 г/см³. Медь обладает высокими электропроводимостью и теплопроводностью. Удельное электрическое сопротивление меди 0,0175 мкОм·м.

Марки меди: М00 (99,99 % Си), М0 (99,97 % Си), М1 (99,9 % Си), М2 (99,7 % Си), М3 (99,50 % Си). Присутствующие в меди примеси оказывают большое влияние на ее свойства.

По характеру взаимодействия примесей с медью их можно разделять на три группы.

1. Примеси, образующие с медью твердые растворы: Ni, Zn, Sb, Fe. Р и др. Эти примеси (особенно Sb) резко снижают электропроводимость и теплопроводность меди, поэтому для проводников тока применяют медь М0 и М1. Сурьма затрудняет горячую обработку давлением.

2. Примеси Pb, Bi и другие, практически не растворимые в меди, образуют в ней легкоплавкие эвтектики, которые, выделяясь по границам зерен, затрудняют обработку давлением.

При содержании 0,005 % Bi медь разрушается при горячей обработке давлением, при более высоком содержании висмута медь становится хладноломкой; на электропроводимость эти примеси оказывают небольшое влияние.

3. Примеси кислорода и серы, образующие с медью хрупкие химические соединения Cu₂O и Cu₂S, входящие в состав эвтектики. Если кислород находится в растворе, то он уменьшает электропроводимость, а сера не влияет на нее. Сера улучшает обрабатываемость меди резанием, а кислород, если он присутствует в меди, образует закись меди и вызывает «водородную болезнь».

При нагреве меди в атмосфере, содержащей водород, происходит его диффузия в глубь меди. Если в меди присутствуют включения Si₂ O, то они реагируют с водородом, в результате чего образуются пары воды. Две основные группы медных сплавов: латунни – сплавы меди с цинком; бронзы – сплавы меди с другими элементами.

Латунни – это многокомпонентные сплавы на основе меди, где основным компонентом является цинк. Технические латунни содержат до 40–45 % Zn. К однофазным б-латунням, которые легко деформируются в холодном и горячем состоянии, относятся Л96 (томпак), Л80 (полутомпак), Л68, обладающая наибольшей пластичностью. Двухфазные (α + β) – латунни, Л59 и Л60 менее пластичны в холодном состоянии и их подвергают горячей обработке давлением.

По технологическому признаку латунни подразделяют на две группы: деформированные и литейные. Литейные латунни мало склонны к ликвидации и обладают антифрикционными свойствами

Деформируемые латунни обладают высокими коррозионными свойствами в атмосферных условиях.

Латунни, предназначение которых для фасонного литья, содержат большое количество специальных присадок, улучшающих их литейные свойства.

Оловянные бронзы. Сплавы, богатые оловом, очень хрупки. Оловянные бронзы обычно легируют Zn, Рс, Р, Pb, Ni и другими элементами. Цинк улучшает технологические свойства бронзы и удешевляет бронзу. Фосфор улучшает литейные свойства. Никель повышает механические свойства, коррозионную стойкость и плотность отливок и уменьшает ликвацию. Железо измельчает зерно, но ухудшает технологические свойства бронз и сопротивляемость коррозии.

Различают деформируемые и литейные оловянные бронзы, которые обладают хорошими литейными свойствами. Двухфазные бронзы обладают высокими антифрикционными свойствами. Их применяют для изготовления антифрикционных деталей.

Никелевые сплавы широко распространены в машиностроении. Никель сообщает меди повышенную стойкость против коррозии и улучшает ее механические и литейные свойства. Бронзы, которые содержат только никель, не применяются из-за высокой стоимости никеля. Никель вводится в сочетании с другими элементами.

В промышленности распространены никелевые сплавы, которые имеют названия: мельхиор (сплав меди с 18–20 % никеля) – применяется для гильз, имеет белый цвет и высокую коррозионную стойкость; константан – сплав меди с 39–41 % никеля. Константан имеет большое электрическое сопротивление и применяется в виде проволок и лент для реостатов, электроизмерительных приборов.

Медь и ее сплавы находят широкое применение в электротехнике, электронике, приборостроении, литейном производстве, двигателестроении. Так, 50 % полученной меди потребляется электротехнической и электронной отраслями промышленности. Она стоит на втором месте (вслед за алюминием) по объему производства среди цветных металлов.

Технические и технологические свойства меди: высокие электро- и теплопроводность, достаточная коррозионная стойкость, хорошая обрабатываемость давлением, свариваемость всеми видами сварки, хорошо поддается пайке, легко полируется. У чистой меди небольшая прочность и высокая пластичность. К недостаткам меди относятся:

- высокая стоимость;
- значительная плотность;
- большая усадка при литье;
- горячеломкость;
- сложность обработки резанием.

46. Магний и его сплавы

Магний является химически активным металлом: образующаяся на воздухе оксидная пленка MgO в силу более высокой плотности, чем у самого магния, растрескивается и не имеет защитных свойств; порошок и стружка магния легко воспламеняются; горячий и расплавленный магний при контакте с водой происходит взрыв.

Магний и его сплавы плохо сопротивляются коррозии, обладают пониженной жидкотекучестью при литье, пластически деформируются лишь при повышенных температурах (225 °C и более). Последнее обусловлено тем, что сдвиг в гексагональной решетке магния при низких температурах осуществляется лишь по плоскости базиса (основание шестигранной призмы). Нагрев до 200–300 °C приводит к появлению дополнительных плоскостей скольжения и, соответственно, повышению пластичности. Малая диффузионная подвижность атомов в магниевых сплавах приводит к замедлению фазовых превращений в них. Поэтому термическая обработка (диффузионный или рекристаллизационный отжиг, закалка, старение) требует больших выдержек (до 24 ч).

В то же время магниевые сплавы характеризуются высокой удельной прочностью, хорошо поглощают вибрации, не взаимодействуют с ураном. Они хорошо обрабатываются резанием и удовлетворительно свариваются аргонодуговой и контактной

сваркой. Основными легирующими элементами в магниевых сплавах являются Mn , Al и Zn .

Марганец повышает коррозионную стойкость и свариваемость сплавов магния. Алюминий и цинк оказывают большое влияние на прочность и пластичность магниевых сплавов: максимальные значения механических характеристик достигаются при введении в сплав 6–7% алюминия или 4–6% цинка. Эти элементы (Al , Zn) образуют с магнием упрочняющие фазы, выделяющиеся в мелкодисперсном виде после закалки со старением.

Цирконий, титан, щелочноземельные (Ca) и редкоземельные (Ce , La) металлы и торий измельчают зерно, раскисляют сплав, повышают его жаропрочность.

По технологии изготовления изделий магниевые сплавы разделяют на литейные (маркировка «МЛ») и деформируемые («МА»). Магниевые сплавы подвергаются различным

видам термической обработки.

Так, для устранения ликвации в литых сплавах (растворения выделившихся при литые избыточных фаз и выравнивания химического состава по объему зерен) проводят диффузионный отжиг (гомогенизацию) фасонных отливок и слитков (400–490 °С, 10–24 ч). Наклеп снимают рекристаллизационным отжигом при 250–350 °С, в процессе которого уменьшается также анизотропия механических свойств, возникающая при пластической деформации.

Магниевого сплавы в зависимости от состава могут упрочняться закалкой (часто с охлаждением на воздухе) и последующим старением при 150–200 °С (режим Т6). Ряд сплавов закаливается уже в процессе охлаждения отливок или поковок и может сразу упрочняться искусственным старением (минуя закалку). Но в большинстве случаев ограничиваются только гомогенизацией (закалкой) при 380–540 °С (режим Т4), т. к. последующее старение, повышая на 20–35 % прочность, приводит к снижению пластичности сплавов. Литейные сплавы.

В литых магниевых сплавах повышения механических свойств добиваются измельчением зерна посредством перегрева расплава или его модифицирования добавками мела или магнезита.

При этом в расплаве образуются твердые частицы, становящиеся центрами кристаллизации. Для предотвращения возгорания магниевых сплавов их плавку ведут в железных тиглях под слоем флюса, а разливку – в парах сернистого газа, образующегося при введении серы в струю металла. При литье в песчаные формы в смесь вводят специальные добавки (фториды алюминия) для уменьшения окисления магния. Среди литейных магниевых сплавов широкое применение нашли сплавы МЛ5 и МЛ6, отличающиеся повышенными литейными и механическими свойствами. Они могут упрочняться как гомогенизацией и закалкой на воздухе (Т4), так и добавочным старением (Т6).

Деформируемые сплавы.

Деформированный (прессованный) магний обладает более высоким комплексом механических свойств, чем литой.

Деформируемые сплавы производят в виде поковок, штамповых заготовок, горячекатаных полос, прутков и профилей. Температурные интервалы технологических процессов обработки давлением магниевых сплавов находятся в следующих пределах: прессование при 300–480 °С, прокатка при 440–225 °С и штамповка (в закрытых штампах) при 480–280 °С. Хорошей коррозионной стойкостью, свариваемостью и технологической пластичностью отличается сплав МА1, относящийся к группе сплавов низкой прочности.

Сплав МА2-1 сочетает в себе оптимальный комплекс механических и технологических свойств (хорошо сваривается, штампуется), но подвержен коррозии под напряжением. Жаропрочным (до 250 °С) является сплав системы (Мд-Zn-Zr) МА14. Сплав упрочняется искусственным старением (режим Т5) после прессования и охлаждения на воздухе. Он характеризуется повышенными механическими свойствами, но склонен к образованию при прокатке горячих трещин.

Применение магниевых сплавов. Из сплавов магния изготавливают корпуса ракет, насосов, приборов, топливные и кислородные баки, рамы двигателя, кожухи. Так, сплавы МЛ5 и МЛ6 используются для литья тормозных барабанов, штурвалов, коробок передач, МЛ10 – деталей приборов высокой герметичности.

Арматуры, бензо- и маслосистемы, а также сварные детали изготавливают из деформируемых сплавов МА1, высоконагруженные детали – из МА14.

47. Титан и его сплавы

Титан и сплавы на его основе обладают высокой коррозионной стойкостью и удельной прочностью. Недостатки титана: его активное взаимодействие с атмосферными газами, склонность к водородной хрупкости.

Азот, углерод, кислород и водород, упрочняя титан, снижают его пластичность, сопротивление коррозии, свариваемость. Титан плохо обрабатывается резанием, удовлетворительно – давлением, сваривается в защитной атмосфере. Широкое распространение получило вакуумное литье, в том числе вакуумно-дуговой переплав с расходуемым электродом.

Аллотропические модификации титана: низкотемпературная и высокотемпературная.

Различают две основные группы легирующих элементов в зависимости от их влияния на температуру полиморфного превращения титана (882,5 °C): б-стабилизаторы (элементы, расширяющие область существования б-фазы и повышающие температуру превращения – Al, Oa, C) и в-стабилизаторы (элементы, суживающие б-область и снижающие температуру полиморфного превращения, – V, Mo, Cr).

Легирующие элементы делятся на две основные группы: элементы с большой (в пределе – неограниченной) и ограниченной растворимостью в титане. Элементы с ограниченной растворимостью вместе с титаном могут образовывать интерметаллиды, силициды и фазы внедрения.

Легирующие элементы влияют на эксплуатационные свойства титана (Fe, Al, Mn, Cr), повышают его прочность, но снижают эластичность и вязкость; Al, Zr увеличивают жаропрочность, а Mo, Zr, Ta – коррозионную стойкость.

Классификация титановых сплавов. Структура промышленных сплавов титана – это твердые растворы легирующих элементов в б- и в-модификациях титана.

Виды термической обработки титановых сплавов.

Рекристаллизационный (простой) отжиг холоднодеформированных сплавов (650–850 °C).

Изотермический отжиг (нагрев до 780–980 °C с последующим охлаждением в печи до 530–680 °C, выдержка при этой температуре и охлаждение на воздухе), обеспечивающий высокую пластичность и термическую стабильность сплавов.

Двойной ступенчатый отжиг (отличается от изотермического тем, что переход от первой ступени ко второй осуществляется охлаждением сплава на воздухе с последующим повторным нагревом до температуры второй ступени), приводящий к упрочнению сплава и снижению пластичности за счет частичного протекания процессов закалки и старения.

Неполный отжиг при 500–680 °C с целью снятия возникающих при механической обработке остаточных напряжений.

Упрочняющая термическая обработка. Большинство титановых сплавов легировано алюминием, повышающим жесткость, прочность, жаропрочность и жаростойкость материала, а также снижающим его плотность.

α -титановые сплавы термической обработкой не упрочняются; их упрочнение достигается посредством легирования твердого раствора и пластической деформацией.

($\alpha + \beta$) – титановые сплавы характеризуются смешанной структурой и упрочняются термической обработкой, состоящей из закалки и старения.

Псевдо- β -титановые сплавы характеризуются высоким содержанием β -стабилизаторов и вызванным этим отсутствием мартенситного превращения. Сплавы характеризуются высокой пластичностью в закаленном состоянии и высокой прочностью в состаренном; они удовлетворительно свариваются аргонодуговой сваркой.

Литейные титановые сплавы. По сравнению с деформируемыми литейные сплавы имеют меньшую прочность, пластичность и выносливость, но более дешевы. Сложность литья титановых сплавов обусловлена активным взаимодействием титана с газами и формовочными материалами. Литейные сплавы BT5Л, BT14Л и BT3-1Л по составу в основном совпадают с аналогичными деформируемыми сплавами (в то же время сплав BT14Л дополнительно содержит железо и хром).

Высокими технологическими свойствами обладает сплав BT5Л: он пластичен, не склонен к образованию трещин при литье, хорошо сваривается. Фасонные отливки из сплава BT5Л работают при температурах до 400 °C. Недостатком сплава является его невысокая

прочность (800 МПа). двухфазный литейный сплав ВТ14Л подвергают отжигу при 850 °С вместо упрочняющей термической обработки, резко снижающей пластичность отливок.

Порошковые сплавы титана. Применение методов порошковой металлургии для производства титановых сплавов позволяет при тех же эксплуатационных свойствах, что и у литого или деформируемого материала, добиться снижения до 50 % стоимости и времени изготовления изделий. Титановый порошковый сплав ВТ6, полученный горячим изостатическим прессованием (ГИП), обладает теми же механическими свойствами, что и деформируемый сплав после отжига. Закаленному и состаренному деформируемому сплаву ВТ6 порошковый сплав уступает в прочности, но превосходит в пластичности.

Применение сплавов титана: обшивки самолетов, морских судов, подводных лодок; корпусов ракет и двигателей; дисков и лопаток стационарных турбин и компрессоров авиационных двигателей; гребных винтов; баллонов для сжиженных газов; емкостей для агрессивных химических сред и др.

48. Виды композиционных материалов. Строение, свойства, области применения

Композиционные материалы состоят из двух компонентов, объединенных различными способами в монолит при сохранении их индивидуальных особенностей.

Признаки материала:

- состав, форма и распределение компонентов определены заранее;
- состоят из двух компонентов и более различного химического состава, разделенных границей;
- обладает свойствами, отличными от свойств компонентов, взятых в отдельности;
- однороден в макромасштабе и неоднороден в микромасштабе;
- не встречается в природе, создан человеком.

Компоненты материала различны по геометрическому признаку. Матрицей называют компонент, который обладает непрерывностью по всему объему. Наполнителем – компонент прерывный, армирующий.

В композиционных материалах в качестве матриц используются металлы и их сплавы, полимеры органические и неорганические, керамические материалы. Свойства зависят от физико-химических свойств компонентов и прочности связи между ними. Компоненты для композиционного материала выбирают со свойствами, отличающимися друг от друга. Такие материалы – высокой удельной жесткости и удельной прочности.

Распространенные композиционные материалы с нуль-мерными наполнителями – металлическая матрица из металла или сплава. Композиционные материалы с равномерным распределением частиц упрочнителя отличаются изотропностью свойств. Композиции, армированные дисперсными частицами получают методами порошковой металлургии.

Композиционные материалы с алюминиевой матрицей на основе алюминия упрочняются частицами Al₂O₃, полученные методом прессования алюминиевой пудры с последующим спеканием (САП).

Сплавы САП удовлетворительно деформируются в горячем состоянии, а сплавы САП-1 – и в холодном. САП легко обрабатываются резанием, удовлетворительно свариваются аргонодуговой и контактной сваркой. Из САП выпускают полуфабрикаты в виде листов, профилей, труб, фольги.

Композиционные материалы с никелевой матрицей.

Упрочняющим компонентом являются токсичные частицы диоксида тория (ThO₂) или диоксида гафния (HfO₂). Эти материалы обозначаются ВДУ-1 и ВДУ-2 соответственно. Композиционные материалы ВДУ-1 и ВДУ-2 пластичны, деформируются в широком интервале температур различными методами (ковка, штамповка, осадка, глубокая вытяжка). Для соединения деталей из сплавов типа ВДУ применяют высокотемпературную пайку либо диффузионную сварку для предотвращения расплавления. Сплавы ВДУ-2 применяют в

авиационном двигателестроении.

Композиционные материалы с одномерными наполнителями упрочняются посредством одномерных элементов в форме нитевидных кристаллов, волокон (проволоки).

Волокна скрепляются матрицей в единый монолит. Матрица служит для защиты упрочняющего волокна от повреждений, является средой, передающей нагрузку на волокна, и перераспределяет напряжения в случае разрыва отдельных волокон.

Композиционные материалы на никелевой матрице

Армированию подвергают жаропрочные никелевые сплавы, чтобы увеличить время их работы и рабочую температуру до 1100–1200 °С. Для армирования никелевых сплавов применяют упрочнители: нитевидные кристаллы, проволоки тугоплавких металлов и сплавов, волокна углерода и карбида кремния.

Эвтектические композиционные материалы – сплавы эвтектического состава. В них упрочняющей фазой являются ориентированные кристаллы, которые образуются при направленной кристаллизации.

Способами направленной кристаллизации получают композиционные материалы на основе Al, Мд, Си, Со, Тк

Эвтектические композиционные материалы на алюминиевой основе

Методом направленной кристаллизации получают композиции Al-A^М и Al-СиAl₂. Композиция отличается высокой стабильностью структуры вплоть до температур плавления.

Эвтектические композиционные материалы на основе никеля – это жаропрочные материалы, используются в ракетной и космической технике. Пластинчатые композиции, содержащие объемную долю упрочняющей фазы более 33–35 %, хрупкие. К пластичным относятся композиции на основе никеля с содержанием объемной доли волокон 3–15 % из карбидов тантала, ниобия, гафния.

Композиционные материалы на неметаллической основе.

В качестве матрицы используют отвержденные эпоксидные, полиэфирные, фенольные смолы.

Композиты, армированные одностипными волокнами, называются по упрочняющему волокну. Композицию, содержащую наполнитель в виде длинных стекловолокон, расположенных ориентированно отдельными прядями, называют ориентированным стекловолокнитом.

Наполнитель неориентированных стекловолокнитов – короткое волокно. Если упрочнителем является стеклоткань, материал называют стеклотекстолитом. Композиционный материал, содержащий углеродное волокно, называют углеволокнитом, борное волокно – бороволокнитом, органическое волокно – органо-локнитом. Достоинства композиционных материалов с полимерной матрицей: высокие удельные прочностные и упругие характеристики; стойкость к воздействию агрессивных сред; хорошие антифрикционные и фрикционные свойства наряду с высокими теплозащитными и амортизационными свойствами.

49. Химический состав, методы получения порошков, свойства и методы их контроля

Порошковые материалы – материалы, получаемые в результате прессования металлических порошков в изделия необходимой формы и размеров и последующего спекания сформованных изделий в вакууме или защитной атмосфере.

Антифрикционные порошковые сплавы имеют низкий коэффициент трения, легко обрабатываются, имеют хорошую износостойкость.

Сплавы на основе цветных металлов применяют в приборостроении и электронной технике. Порошковые материалы применяют при изготовлении деталей, которые имеют простую симметричную форму, небольшие массу и размер.

Порошковая металлургия – отрасль технологии, которая занимается производством

металлических порошков и деталей из них. Из металлического порошка прессуют заготовки, которые подвергают термической обработке – спеканию. Металлические порошки бывают: железные, медные, никелевые, хромовые, кобальтовые, вольфрамовые, молибденовые, титановые. Различают два способа получения порошков: механический и физико-химический.

Наиболее распространенным является способ механического измельчения исходного сырья (стружкой, обрезков). Для измельчения применяются механические мельницы. Механическое измельчение имеет свои недостатки. К ним относят высокую стоимость порошков, которая включает стоимость изготовления исходных литых металлов и сплавов, и относительно низкую производительность процесса.

Физико-химические способы получения порошков: восстановление оксидов, осаждение металлического порошка из водного раствора соли. Получение порошка связано с изменением химического состава сырья. Физико-химические способы получения порошков более универсальны, чем механические. Благодаря использованию дешевого сырья физико-химические способы отличаются экономичностью.

Химический состав порошков определяется содержанием основного металла или компонента и примесей. Физические свойства порошков определяются размером и формой частиц, микротвердостью, плотностью, созданием кристаллической решетки. Технологические свойства характеризуются текучестью, прессуемостью и спекаемостью порошка.

Текучесть – способность порошка заполнять форму. Текучесть имеет большое значение при автоматическом прессовании, где на производительность пресса влияет скорость заполнения формы. Низкая текучесть влияет на неоднородность плотности заготовок.

Прессуемостью называют способность порошка уплотняться под действием внешней нагрузки и прочность сцепления частиц в результате прессования. На прессуемость порошка влияет пластичность материала частиц, их размер и форма. Она повышается с введением в состав порошка поверхностно-активных веществ.

Конструкционные материалы, которые используются для изготовления заготовок и готовых деталей, получают при помощи методов порошковой металлургии. Композиционные материалы со специальными физико-механическими и эксплуатационными свойствами широко распространены в промышленности.

Антифрикционные металлокерамические материалы используются для изготовления подшипников скольжения. В антифрикционных материалах твердой составляющей является металлическая основа, а мягкой составляющей – поры, заполняемые маслом или пластмассой.

Фрикционные композиционные материалы – это сложные композиции, в основе которых находятся медь или железо. Графит или свинец способствуют уменьшению износа композиции. Фрикционные материалы используются как биметаллические элементы, состоящие из фрикционного слоя, который спекается под давлением с основой (диском).

Высокопористые материалы используются для изготовления фильтров. Фильтры могут быть изготовлены из порошков коррозионно-стойкой стали, алюминия, титана.

Металлические высокопористые материалы производят при помощи спекания порошков, не применяя предварительное прессование. Для выделения газов в процессе спекания в порошки добавляют специальные вещества.

Металлокерамические твердые сплавы имеют высокую твердость, теплостойкость и износостойкость. Их используют для изготовления режущих и буровых инструментов, а также наносят на поверхность быстроизнашивающихся деталей.

Порошковой металлургией изготавливают алмазно-металлические материалы. В качестве связующего применяют металлические порошки (медные, никелевые).

В современной технологии композиционных материалов широкое применение получили волокнистые материалы. Для их получения используют проволоки из вольфрама, молибдена, бора, графита – в зависимости от требуемых свойств создаваемого материала.

Металлургия волокна – отрасль порошковой металлургии, которая специализируется на решении вопросов исследования и создания волокнистых материалов.

Процесс приготовления смеси включает предварительный отжиг, сортировку порошка по размерам частиц (рассев) и смешение.

50. Формование и спекание порошков, области применения

Спекаемость – это прочность сцепления частиц в результате термической обработки прессованных заготовок.

Подготовленные порошки смешивают в шаровых, барабанных мельницах. Заготовки из металлических порошков формуют прессованием (холодное, горячее, гидростатическое) и прокаткой. В зависимости от размеров и сложности прессуемых заготовок применяют одно– и двустороннее прессование. Односторонним получают заготовки простой формы и заготовки типа втулок. Путем двустороннего прессования проводят формование заготовок сложной формы.

При горячем прессовании технологически совмещаются процессы формования и спекания заготовки. В результате горячего прессования получаются материалы, характеризующиеся высокой прочностью, плотностью и однородностью структуры. Для изготовления пресс-форм лучше всего подходит графит.

Гидростатическое прессование применяют для получения металлокерамических заготовок. В качестве рабочей жидкости используют масло, воду, глицерин.

Выдавливанием изготавливают прутки, трубы и профили различного сечения. Профиль изготавливаемой детали зависит от формы калиброванного отверстия пресс-формы. В качестве оборудования используют механические и гидравлические прессы.

Прокатка – один из наиболее производительных и перспективных способов, который используется для переработки порошковых материалов. В некоторых случаях процесс прокатки совмещают со спеканием и окончательной обработкой получаемых заготовок.

Спекание проводят с целью повышения прочности предварительно полученных заготовок прессованием или прокаткой. В спрессованных заготовках отдельные частицы имеют малую долю контакта, поэтому спекание сопровождается ростом контактов между отдельными частицами порошка. В зависимости от времени и температуры спекания происходит увеличение прочности и плотности в результате активизации процесса образования контактных поверхностей. Если технологические параметры превышаются, это может привести к снижению прочности в результате роста зерен кристаллизации.

К атмосфере спекания предъявляются требования – безокислительные условия нагрева заготовок.

Заготовки после процесса спекания подвергают дополнительной обработке с целью повышения физико-механических свойств, получения окончательных размеров и формы, нанесения декоративных покрытий и защиты поверхности детали от коррозии.

Для повышения физико-механических свойств, спеченных заготовок применяют повторное прессование и спекание, пропитку смазочными материалами, термическую или химико-термическую обработку.

Повторное прессование и спекание позволяет получать детали с более высокой плотностью. Спеченные материалы можно подвергать ковке, прокатке, штамповке при повышенных температурах. Обработка давлением позволяет снизить пористость материалов и повысить их пластичность.

Порошковые металлические материалы – это изготовленные при помощи метода приготовления порошковой шихты, формирования и спекания спеченные материалы. К данным материалам можно отнести твердые сплавы, дисперсноупрочненные композиты, анти– и фрикционные материалы, порошковые стали, спеченные цветные металлы, пористые металлические материалы.

Для того чтобы получить спеченные детали из порошковой стали, используются смеси

порошков железа и легирующих порошков, а также порошки углеродистых и легированных сталей. Способы получения порошковых сталей: холодное прессование и спекание; двойное прессование и спекание; горячее прессование; горячая штамповка. Термическая обработка порошковых сталей осуществляется в специальных защитных средах. С целью предотвращения процесса окисления для охлаждения сталей используется масло или вода. Порошковые стали имеют один характерный структурный элемент – поры. Чем больше пористость материала, тем ниже плотность, прочность и ударная вязкость стали. Но многие характеристики материалов зависят от пористости не монотонно. Так, трещиностойкость и ударная вязкость порошкового железа изменяется немонотонно в зависимости от пористости.

Широкое распространение в современном машиностроении получили порошковые спеченные антифрикционные материалы,готавливаемые с использованием медной и стальных матриц. Для приготовления более прочных и качественных материалов используются специальные добавки: фтористый кальций, графит, турбост-ратный нитрид бора. В результате после процесса спекания образуется пористая структура. В поровых каналах данной структуры могут сохраняться частицы масла и другие жидкие смазки. Материалы с пористой структурой являются наиболее подходящими для замены бронзовых и баббитовых металлических антифрикционных сплавов, которые достаточно дорогостоящие в применении.

В порошковой металлургии производится минералокерамика, которая получается при использовании железа, кобальта и других тугоплавких металлов. Изделия из бериллия также изготавливаются методами порошковой металлургии. Процесс изготовления: формование и спекание, горячая пластическая деформация.

51. Неорганические стекла. Техническая керамика

Неорганическое стекло – химически сложные аморфные изотропные материалы, обладающие свойствами хрупкого твердого тела.

Стекла состоят:

1. Стеклообразователи – основа:

а) SiO_2 – силикатное стекло, если $\text{SiO}_2 > 99 \%$, то это кварцевое стекло;

б) $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$ – алюмосиликатное стекло;

в) $\text{B}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$ – боросиликатное стекло;

г) $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{B}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$ – алюмоборосиликатное стекло;

2. Модификаторы, вводятся для придания стеклу определенных свойств. Ввод оксидов щелочноземельных металлов (I, II группа: Na, K) уменьшает температуру размягчения. Оксиды хрома, железа, ванадия придают стеклу определенные цвета. Оксиды свинца увеличивают коэффициент преломления. В зависимости от количества модификаторов стекла бывают: щелочные с содержанием модификаторов до 20–30 %, бесщелочные – до 5 % модификаторов, кварцевое стекло – модификаторов нет;

3. Компенсаторы, подавляют негативное воздействие модификаторов. Стекла в автомобилях, в стеклопластиках, оптика, теплопроводимость низкая, не растворимы в кислотах и щелочах.

Свойства стекол: стекла отличаются высокой твердостью и пределом прочности. Теоретически предел прочности достигает 10–12 ГПа. Модуль упругости $E = 70$ ГПа. Твердость по Виккерсу $HV \sim 750$ кгс/мм². Практически предел прочности – 50–100 МПа. Низкий α_V объясняется факторами: высокий коэффициент линейного расширения. С остыванием стекла на его поверхности образуются растягивающие напряжения, что приводит к появлению трещин. Стекло – хороший теплоизолятор, что также приводит к образованию трещин. Стекло не сопротивляется динамическим нагрузкам.

Способы упрочнения стекол:

1) травление для удаления дефектного поверхностного слоя. Предел прочности

увеличивается до 3000 МПа. Малоэффективный способ, т. к. в дальнейшем стекло взаимодействует с абразивными частицами или твердыми материалами;

2) создание на поверхности сжимающих напряжений. Для этого проводят закалку, осуществляют нагрев до определенной температуры, затем охлаждают в заданном режиме (температура нагревания, охлаждение и время выдержки). Предел прочности увеличивается до 1000–1500 МПа;

3) нанесение на поверхность стекол полимерных материалов. Полимерное связующее склеивает микротрещины на поверхности стекла.

Кварцевое стекло обладает высокой газопроницаемостью (гелий, водород, неон) по сравнению с другими силикатными стеклами, в составе которых кроме диоксида кремния присутствуют оксиды щелочных и щелочноземельных металлов.

Два параметра, объединяющих структуру двойных фосфатных стекол со структурой двойных силикатных стекол: структурной основной единицей являются тетраэдрические элементокислородные группировки; при добавлении модифицирующих оксидов увеличивается число не мостиковых атомов кислорода.

Затверждение и плавление стекла происходит постепенно в некотором температурном интервале. Поэтому не существует определенная температура затвердевания или плавления. В процессе охлаждения расплав переходит из жидкого в пластическое состояние, а после этого – в твердое (процесс стеклования).

Органические стекла представляют собой органические полимеры-полиакрилаты, поликарбонаты, полистирол, сополимеры винилхлорида с метилметакрилатом, находящиеся в стеклообразном состоянии. Наибольшее практическое применение нашли стекла на основе полиметил-метакрилата. По своей технологии, механизму твердения и строению органические стекла отличаются от неорганических.

Элементарные стекла способны образовывать небольшое число элементов – сера, селен, мышьяк, фосфор, углерод.

Галогенидные стекла получают на основе стеклообразующего компонента BeF_2 . Многокомпонентные составы фторбериллатных стекол включают в себя фториды алюминия, кальция, магния, стронция, бария. Фторбериллатные стекла широко применяются на практике из-за высокой устойчивости к действию жестких излучений, включая рентгеновские лучи, и таких агрессивных сред, как фтор и фтористый водород.

Промышленное значение приобретают способы получения стекол путем вакуумного испарения, конденсации из паровой фазы, плазменного напыления. В этих случаях стекло удастся получить из газовой фазы, минуя расплавленное состояние.

Керамика – неорганический материал, получаемый отформованием масс в процессе высокотемпературного обжига. Оксидная керамика обладает высокой прочностью при сжатии по сравнению с прочностью при растяжении или изгибе. Более прочными являются мелкокристаллические структуры. С повышением температуры прочность керамики понижается. Керамика из чистых оксидов не подвержена процессу окисления.

Бескислородная керамика. Материалы являются очень хрупкими. Сопротивление окислению при высоких температурах карбидов и боридов составляет 900–1000 °С, у нитридов оно ниже. Силициды выдерживают температуру 1300–1700 °С. При таких температурах на поверхности образуется пленка кремнезема.

52. Полимеры, пластмассы

Полимеры – это вещества, макромолекулы которых состоят из многочисленных повторяющихся элементарных звеньев, которые представляют одинаковую группу атомов. Молекулярная масса молекул составляет от 500 до 1000000.

В молекулах полимеров различают главную цепь, которая построена из большого числа атомов. Боковые цепи имеют меньшую протяженность.

Полимеры, главная цепь которых содержит одинаковые атомы, называют

гомоцепными, а если атомы углерода – карбоцепными. Полимеры, в главной цепи которых содержатся различные атомы, называют гетероцепными.

Макромолекулы полимеров по форме делят на линейные, разветвленные, плоские, ленточные, пространственные или сетчатые.

Линейные макромолекулы полимера – длинные зигзагообразные и скрученные в спираль цепочки, которым присуща гибкость, ограничиваемая жесткими участками – сегментами, состоящими из нескольких звеньев. Такие макромолекулы обладают высокой прочностью вдоль главной цепи, слабо связаны между собой и обеспечивают высокую эластичность материала. Нагрев вызывает размягчение, а последующее охлаждение – затвердевание полимера (полиамид, полиэтилен).

Разветвленная макромолекула содержит боковые ответвления и это затрудняет сближение макромолекул и понижает межмолекулярное взаимодействие. Полимеры с такой формой отличаются пониженной прочностью, повышенной плавкостью и рыхлостью. Сшитые формы макромолекул свойственны более прочным, нерастворимым и неплавким полимерам, склонным к набуханию в растворителях и размягчению при нагревании.

Макромолекулы полимеров обладают гибкостью.

Пластмассы (пластики) – это органические материалы на основе полимеров, которые способны при нагреве размягчаться и под давлением принимать определенную устойчивую форму. Простые пластмассы состоят из одних химических полимеров. Сложные пластмассы включают добавки: наполнители, пластификаторы, красители, отвердители, катализаторы.

Наполнители в пластмассы вводят в количестве 40–70 % для повышения твердости, прочности, жесткости, придания особых специфических свойств. Наполнителями могут быть ткани и порошкообразные, волокнистые вещества.

Пластификаторы (стеарин, олеиновая кислота) способствуют повышению эластичности, пластичности и облегчают обработку пластмасс.

Отвердители (амины) и катализаторы (перекисные соединения) вводят в пластмассы для отверждения.

Красители (минеральные пигменты, спиртовые растворы органических красок) придают пластмассам определенную окраску и снижают их стоимость. Состав компонентов, их сочетание и количественное соотношение позволяют изменять свойства пластмасс в широких пределах. Пластмассы классифицируют по признакам.

По виду наполнителя: с твердым наполнителем; с газообразным наполнителем.

По реакции связующего полимера к повторным нагревам. Термопластичные пластмассы на основе термопластичного полимера размягчаются при нагреве и затвердевают при последующем охлаждении (чистые полимеры или композиции полимеров с пластификаторами, противостарителями).

Термопласты отличаются низкой усадкой 1–3%. Для них характерны малая хрупкость, большая упругость и способность к ориентации.

Термореактивные пластмассы на основе термореактивных полимеров (смол) после тепловой обработки – отверждения – переходят в термостабильное состояние и отличаются хрупкостью, имеют большую усадку 10–15 % и содержат в своем составе наполнители.

По применению подразделяются на группы: конструкционные – для силовых деталей и конструкций, для несиловых деталей; прокладочные, уплотнительные; фрикционные и антифрикционные; электроизоляционные, радиопрозрачные теплоизоляционные; стойкие к воздействию огня, масел, кислот; облицовочно-декоративные.

Полиэтилен можно использовать длительное время при 60–100 °С. Морозостойкость достигает –70 °С и ниже. Химически стоек и нерастворим в растворителях, применяется для изоляции защитных оболочек кабелей проводов, деталей высокочастотных установок и изготовления коррозионностойких деталей – труб, прокладок, шлангов. Его выпускают в виде пленки, листов, труб, блоков. Полиэтилен подвержен старению.

Полистирол – это аморфный, твердый, прозрачный полимер, который имеет линейное строение, высокие диэлектрические свойства, удовлетворительную механическую

прочность, невысокую рабочую температуру (до 100 °С), химическую стойкость в щелочах, минеральных и органических кислотах, маслах. Он набухает в 65 %-ной азотной, ледяной уксусной кислотах, бензине и керосине. При температуре выше 200 °С разлагается, образуя стирол. Полистирол применяют для производства слабонагруженных деталей и высокочастотных изоляторов. Недостатки – хрупкость при пониженных температурах, склонность к постепенному образованию поверхностных трещин.

Пластмассы широко применяются в машиностроении и приборостроении для изготовления деталей. Пластмассы электротехнического назначения применяют в качестве электроизоляционных материалов в конструкциях машин.