



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физическое и прикладное материаловедение»

Учебное пособие

по дисциплинам

«Методы анализа состава материалов», «Неразрушающие методы контроля материалов», «Физикохимия наномате- риалов»»

Авторы
Пустовойт В.Н.,
Долгачев Ю.В.

Ростов-на-Дону, 2018

Аннотация

В учебном пособии кратко изложены основные теоретические положения в рамках учебных курсов «Методы анализа состава материалов» и «Неразрушающие методы контроля материалов».

Пособие ориентировано на студентов, обучающихся по направлениям «Материаловедение и технологии материалов», «Наноинженерия», «Металлургия», и будет полезно магистрантам, аспирантам, преподавателям, инженерам и ученым, специализирующимся в области материаловедения.

Авторы

д.т.н., профессор, зав. кафедрой кафедры
«Физическое и прикладное
материаловедение»

Пустовойт В.Н.,

к.т.н., доцент кафедры «Физическое и
прикладное материаловедение»

Долгачев Ю.В.



Оглавление

1. МЕТОДЫ АНАЛИЗА СОСТАВА МАТЕРИАЛОВ	4
1.1. ИСТОРИЯ МЕТОДОВ АНАЛИЗА СОСТАВА	4
1.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА	6
1.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА.....	16
1.4. СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ СТРУКТУРНЫМ (ФАЗОВЫМ) СОСТАВОМ СПЛАВА ПО ОБЪЕМУ И ЕГО ХИМИЧЕСКИМ СОСТАВОМ ПО МАССЕ.....	21
1.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА СПЛАВА ПУТЕМ РАСШИФРОВКИ ЕГО МАРКИ	24
1.6. РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .	31
2. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ МАТЕРИАЛОВ	31
2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ	31
2.2. ДЕФЕКТЫ В МАТЕРИАЛАХ	32
2.3. ВИДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ	42
2.4. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВЫБОР МЕТОДОВ ДЕФЕКТΟΣКОПИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ	46
2.5. РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .	48

1. МЕТОДЫ АНАЛИЗА СОСТАВА МАТЕРИАЛОВ

1.1. ИСТОРИЯ МЕТОДОВ АНАЛИЗА СОСТАВА

С легкой руки Архимеда (в III веке до нашей эры) определение состава сплава по его удельному весу (или плотности) стало довольно распространенным приемом. К сожалению, у него немало недостатков. Необходимо знать, из каких именно металлов состоит сплав и какова зависимость плотности от состава (а это далеко не всегда прямая линия). Но самое главное, что чувствительность метода зависит от разности плотностей металлов, составляющих сплав. Когда плотности сплавляемых элементов близки, метод Архимеда оказывается практически бессильным.

Самые первые, относительно точные, методы определения состава сплавов возникли благодаря развитию химии. Начиная примерно с конца XIV века для разделения золота и серебра стала широко применяться азотная кислота, в которой серебро растворялось, а золото нет. Таким образом, компонент оказывался выделенным из сплава за счет характерной для него химической реакции. Этот метод был систематизирован в конце XVIII века в работах шведского химика Торберна Бергмана. В них предлагалось переводить исследуемое вещество в растворенное состояние, а затем проводить избирательное осаждение разных компонентов с помощью характерных для них реактивов. В частности, Бергман подробно описал методы определения большинства известных тогда металлов — золота, серебра, платины, ртути, свинца, меди, железа, олова, висмута, никеля, кобальта, цинка, сурьмы и марганца.

За два века методы «мокрой химии» серьезно усовершенствовались. Они широко применяются сегодня и позволяют не только установить, какие элементы присутствуют в образце (качественный анализ), но и определить концентрацию (относительное количество) каждого из них (количественный анализ). Для этого достаточно взвесить выделенный с помощью реактива осадок и, зная его химическую формулу, найти массу интересующего нас элемента.

У «мокрой химии» имеется существенный недостаток: анализ удобно проводить, когда хотя бы примерно ясно, что надо искать. К счастью, со времени Бергмана арсенал методов аналитической химии существенно пополнился. Одним из наиболее ценных приобретений стал спектральный анализ.

Профессор химии Гейдельбергского университета Роберт Бунзен изучал горение некоторых веществ. Он заметил, что соли металлов окрашивают пламя в различные цвета. Вскоре отчетливо выявилась закономерность. Один и тот же металл всегда окрашивал пламя в определенный цвет, независимо от того, в каком виде сжигался. Например, от бария пламя зеленело, а от натрия желтело.

Бунзен прекрасно понял значение своего открытия. Его можно было использовать для определения элементов, присутствовавших в образце. Практический путь реализации проекта был, однако, не ясен. Ведь если образец состоит из нескольких компонентов, то цвет у пламени получается сложный: всех нюансов не различишь. Нужна была еще одна идея, чтобы открытие смогло заявить о себе «во весь голос». Ее подал и реализовал знаменитый немецкий физик Густав Кирхгоф, с которым Бунзена связывала многолетняя дружба.

Вспомните, как призма разлагает солнечный свет на спектр. Именно это и предложил использовать Кирхгоф. Вместо самого пламени следовало рассматривать его спектр, где каждому цвету была отведена своя отдельная «территория». Все оттенки пламени оказывались разделенными и наблюдались без малейших усилий. Более того, Кирхгоф из подручных средств самостоятельно сконструировал прибор — спектроскоп, который позволял разложить пламя на составные части и наблюдать их.

Спектр каждого элемента состоял из специфически расположенных линий разного цвета. Например, для натрия самыми характерными были две яркие желтые линии, которые Кирхгоф быстро заметил в свой прибор. Они появлялись всегда, в каком бы виде ни сжигался натрий. Спектры двух различных элементов спутать было невозможно. Поэтому для определения химического состава оставалось только затабулировать длины волн (или по крайней мере цвета и характерное расположение) основных линий спектра всех известных элементов, с которыми впоследствии следовало сравнивать спектр исследуемого образца.

Технически спектральный анализ проводится поразному, но всегда предусматривается осуществление двух важнейших этапов — возбуждения спектра и его регистрации. В опытах Бунзена спектр возбуждался пламенем горелки. Но существуют и совершенно другие пути — бомбардировка электронами, облучение и т. д. И совсем необязательно регистрировать видимую часть спектра. Допустимо пользоваться любым другим диапазоном длин волн — ультрафиолетовым, инфракрасным и т. д. Лишь бы имелась возможность зафиксировать спектр и сравнить его с табличными данными.

С помощью спектральных методов проводят не только качественный, но и количественный анализ: устанавливают концентрацию разных элементов в образце. Кстати, ее совершенно необязательно выражать именно в массовых процентах (как это делал еще Архимед). Сегодня часто пользуются атомными процентами (или долями). В этом случае концентрация равна отношению числа атомов данного элемента к общему числу атомов.

Количественный спектральный анализ основан на простой закономерности: чем больше в образце атомов данного элемента, тем интенсивнее проявляются его линии. А интенсивность можно измерить, например, по степени почернения фоточувствительной пластинки. Необходимым условием количественного анализа является знание зависимости интенсивности от концентрации. Ее строят, пользуясь эталонами, т. е. образцами с заранее известной концентрацией анализируемого элемента. Колоссальным преимуществом спектрального анализа является быстрота его проведения. На современных компьютеризованных установках определение состава образца — буквально минутное дело.

На практике очень часто применяют комбинацию разных методов. Например, сначала проводят качественный спектральный анализ и устанавливают, какие элементы присутствуют в образце, а уж затем обращаются к «мокрой химии».

Помимо упомянутых нами существует множество других методов анализа. К какому из них прибегнуть, зависит от объекта исследования и имеющегося в наличии оборудования.

1.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА

Методы, которыми можно определять элементный состав материалов, делятся на химические и физические.

Принцип *химических методов* основан на превращении анализируемого вещества в новое соединение, для которого тем или иным способом возможна количественная оценка. В свою очередь, для количественного определения полученного соединения применяют гравиметрический (весовой) и титриметрический (объемный) анализы, которые основаны на измерении количества израсходованного на реакцию реагента.

Под *чувствительностью метода* понимается его способность обнаружить разницу между близкими концентрациями атомов определяемого элемента.

Предел обнаружения характеризует наименьшее содержание элемента, которое можно обнаружить с заданной достоверностью.

В основе *гравиметрического (весового) метода* количественного анализа лежит точное измерение массы определяемого вещества или его составных частей, выделяемых в химически чистом состоянии или в виде соответствующих соединений точно известного постоянного состава. Массу определяемого вещества взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,0002 г.

Данный метод позволяет с большой точностью определять количественное содержание отдельных компонентов. Поскольку почти каждый химический элемент образует труднорастворимые соединения, то область применения метода велика. Обычно гравиметрическим методом определяют большие содержания вещества — от десятых долей до десятков процентов. При этом минимально определяемая концентрация невелика — около $10^{-20}\%$. Большая длительность эксперимента является существенным недостатком метода.

В основе *титриметрического метода* количественного химического анализа лежит точное измерение объемов реагирующих веществ. Титрование используется, в первую очередь, для экспрессного определения высоких и средних концентраций веществ в растворах. Данный метод отличается малой трудоемкостью, простотой аппаратного оформления, довольно высокой точностью.

Общими достоинствами химических методов являются невысокая стоимость анализа, простота аппаратного оформления.

Определение элементного состава материалов *физическими методами* основано на измерении зависимостей физическое свойство — состав. К ним относятся различные спектральные методы: атомно-абсорбционный; рентгеноспектральный; масс-спектральный, ионная диагностика и др.

Наиболее часто в физических методах исследования регистрируется взаимодействие вещества с электромагнитным излучением (его электрической или магнитной компонентой). При этом происходит изменение энергии ΔE молекул исследуемого материала в соответствии с уравнением Бора:

$$\Delta E = E - E_0 = h\nu,$$

где E и E_0 — энергии системы в возбужденном и стационарном состоянии; h — постоянная Планка; ν — частота.

В том случае, когда ΔE положительно, наблюдается поглощение энергии; если ΔE отрицательно, то происходит излучение энергии. В первом случае регистрируются спектры поглощения, во втором — эмиссионные спектры.

Спектр — излучение, разложенное по длинам волн.

Спектральная линия — узкий (почти хроматический) пик в спектре испускания либо провал в спектре пропускания объекта. Чаще всего этот термин применяется к квантовым процессам. Положение спектральной линии в спектре определяется длиной волны λ , частотой $\nu = c/\lambda$ или энергией кванта $h\nu$.

Спектрометрия — область физики, посвященная исследованию распределения интенсивности электромагнитного излучения по длинам волн или частотам. По типам спектров различают эмиссионную спектроскопию, изучающую спектры испускания, и абсорбционную спектроскопию, изучающую спектры поглощения.

На рис. 1.1 приведена шкала деления электромагнитного излучения по длинам волн и соответствующие им методы спектроскопии.

Высокоэнергетическая область спектра начинается γ -лучами ($\lambda = 10^{-16} - 10^{-10}$ м), которые характеризуют изменения в энергетическом состоянии ядер, вызывая внутриядерные превращения. Это метод *γ -резонансной спектроскопии*.

Рентгеновские лучи ($\lambda = 10^{-10} - 10^{-8}$ м) изменяют энергетическое состояние внутренних, прилегающих к ядру электронов, не затрагивая ядра. *Рентгеноскопия* изучает взаимодействие данных электронов и ядра и дает возможность определить энергетические связи электронов как с ядром, так и между собой.

Ультрафиолетовое (УФ) и видимое излучение, объединяемые в одну область электронных спектров ($\lambda = 10^{-8} - 10^{-6}$ м), соответствует энергетическим изменениям внешних валентных электронов. На фиксировании этих явлений основана *ультрафиолетовая и оптическая спектроскопия*.

Методы контроля и анализа материалов

Инфракрасные (ИК) лучи ($\lambda=10^{-6}-10^{-4}$ м) вызывают изменения энергии колебательных уровней молекул, т. е. колебаний связей и функциональных групп. На этих явлениях основан метод *ИК-спектроскопии*.

Микроволновое поглощение ($\lambda=10^{-4}-10^{-1}$ м) связано с изменением энергии вращения атомов в молекуле и с колебаниями атомов в кристаллической решетке. Это метод *микроволновой спектроскопии*.

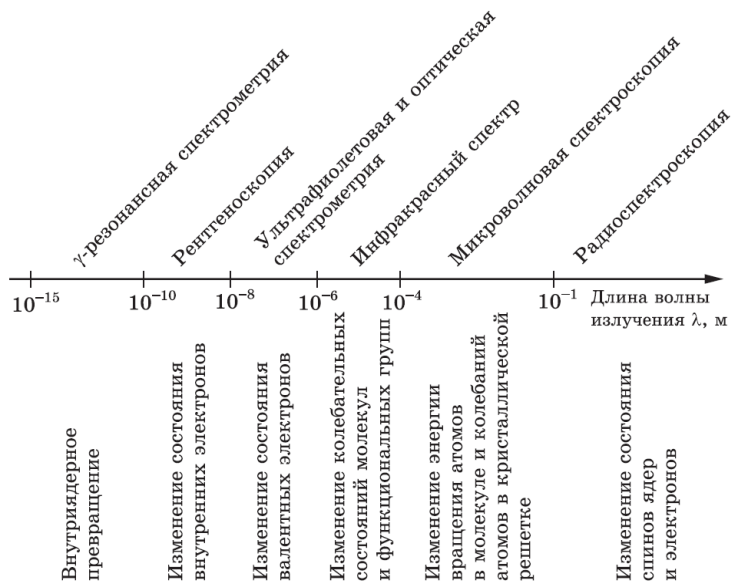


Рисунок 1.1 - Схема деления электромагнитного излучения по длинам волн и соответствующие им методы спектроскопии

Наконец, радиоволны ($\lambda > 10^{-1}$ м) соответствуют изменению энергии состояния спинов ядер и электронов. *Радиоспектроскопия* подразделяется на *метод ядерного магнитного резонанса* — ЯМР, *ядерного квадрупольного резонанса* — ЯКР, *электронного парамагнитного резонанса* — ЭПР, *электронно-циклотронного резонанса* — ЭЦР и др.

К спектроскопии в широком смысле относят также *ядерную спектроскопию*, в которую включают α - и β -спектроскопию, а также спектроскопию нейтронов, нейтрино и других элементарных частиц. Распределение атомных частиц по массам и энергиям изучает *масс-спектроскопия*, интенсивность звука по его частоте — акустическая спектроскопия; электронов по энергиям — *фотоэлектронная спектроскопия*, *рентгеноэлектронная спектроскопия*

и т. д.

Рассмотрим некоторые методы спектрального анализа подробнее.

Определение химического состава *атомно-эмиссионным спектральным* методом основано на изучении атомных спектров вещества, возбуждаемых в горячих источниках света. Данный анализ дает информацию как о качественном, так и количественном составе анализируемого объекта.

Схему эмиссионного спектрального анализа можно представить следующим образом: перевод вещества в парообразное состояние, которое сопровождается возбуждением атомов или ионов; разложение испускаемого атомами или ионами света в спектр; регистрация и расшифровка полученных спектров. По характерным для каждого атома линиям можно идентифицировать элементы, содержащиеся в анализируемом образце (качественный спектральный анализ), а по относительным интенсивностям спектральных линий можно определить их концентрации (количественный анализ).

Для возбуждения атома ему необходимо сообщить энергию, называемую потенциалом возбуждения. В общем случае ее величина является функцией положения элемента в Периодической системе и, следовательно, зависит от заряда ядра и строения электронных оболочек атома. Возбужденное состояние атомов длится порядка 10^{-8} с, после чего атом переходит в невозбужденное состояние, а избыток энергии высвобождается в виде кванта (рис. 1.2).

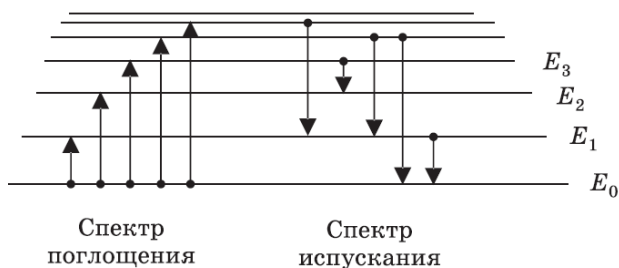


Рисунок 1.2 - Схема расположения энергетических уровней в атоме

На схеме нижний энергетический уровень E_0 соответствует атому, находящемуся в невозбужденном состоянии. Переходы с различных возбужденных уровней на один и тот же нижний приводят к появлению серии спектральных линий. Количество возможных электронных переходов и, следовательно, число линий

в спектре элемента определяется строением внешних электронных оболочек атомов. Если элемент содержит мало внешних электронов (например, щелочные металлы), то его спектр будет иметь небольшое количество пиков. Линии, которые соответствуют переходам на основной уровень, называются резонансными. Особое значение для анализа имеют резонансные линии, соответствующие переходам с первого возбужденного уровня E_1 . Поскольку эти линии являются наиболее интенсивными, то они обеспечивают наибольшую чувствительность при определении малых количеств элемента. Эти линии получили название последних, так как при уменьшении концентрации элемента они исчезают в спектре последними.

Метод атомно-эмиссионной спектроскопии позволяет проводить многокомпонентный анализ пробы при содержании примесного элемента до 10⁻⁶% масс. Верхняя граница определяемого содержания—до нескольких десятков процентов. Метод экспрессен, поддается автоматизации. При анализе расходуются очень малые количества вещества: порядка миллиграмма. Метод позволяет определять до 80 элементов Периодической системы, а также анализировать пробы в любом агрегатном состоянии.

Анализ химического состава вещества, получивший название *атомно-абсорбционный*, основан на способности свободных атомов, образующихся при испарении исследуемых проб, поглощать излучение только определенных для каждого элемента длин волн. Набор спектральных частот при этом соответствует разнице в энергии между основным и возбужденными состояниями атома. В данном методе обычно используется монохроматический источник излучения. Количественная зависимость степени поглощения света при прохождении через парообразное вещество от его концентрации описывается законом Бугера–Ламберта–Беера:

$$A = \lg(I_0/I_t) = klc,$$

где I_0 и I_t — интенсивность падающего и прошедшего через поглощающий слой излучения; k — коэффициент поглощения, зависящий от природы атомов, длины волны излучения и условий съемки; l — длина пути света в поглощающем слое атомов; c — концентрация поглощающих атомов в паре.

Данный метод является одним из важнейших способов определения малого содержания элементов в материалах. С помощью атомно-абсорбционного анализа можно определить более 80 элементов, его чувствительность часто превышает точность атомно-эмиссионной спектроскопии. Также широкое применение метода обусловлено простотой аппаратного оформления, экс-

прессностью анализа. Для атомно-абсорбционной спектроскопии характерна высокая избирательность, взаимные влияния элементов при определении невелики.

Принцип *масс-спектрального* анализа заключается в следующем. Тем или иным способом проводится ионизация пробы, после чего в вакууме из образовавшихся ионов формируется направленный пучок, который в магнитном и электрическом полях разделяется по массам.

Масс-спектральный анализ позволяет наиболее полно решить задачу определения всех возможных примесей в материале. В одном эксперименте можно зарегистрировать все элементы Периодической системы и даже провести изотопный анализ. Таким образом, масс-спектральный метод характеризуется более высокой селективностью, чем другие способы исследования химического состава вещества. В масс-спектрометрии также незначительно взаимное влияние элементов при их определении (матричный эффект).

Пределы обнаружения для большинства элементов составляют 10^{-6} – $10^{-7}\%$, а в ряде случаев до $10^{-8}\%$. На полный масс-спектральный анализ расходуется обычно не более 10 мг вещества, так что абсолютная чувствительность составляет 10^{-10} – 10^{-12} г. Случайная погрешность анализа варьируется от 1 до 10%.

Ионизация вещества проводится тремя основными способами. Наиболее распространено использование электрического искрового разряда. В этом способе из пробы изготавливают электроды, которые устанавливают в камере с зазором 0,05–0,5 мм и подают на них мощный электрический импульс. При этом происходит пробой зазора (образование искры), частично разрушающий, испаряющий и ионизирующий материал электродов, т. е. пробу. Этот способ получил название *искровой масс-спектрометрии*. Пригоден он, в основном, для исследования проводящих материалов.

Ионизация любых светопоглощающих твердых проб, в том числе непроводящих, может осуществляться лазерным пучком. Используется для этого, как правило, импульсный твердотельный лазер. Этот способ называется *лазерной масс-спектрометрией*.

Еще один вариант — *масс-спектрометрия вторичных ионов* (которые возникают в результате облучения образца сфокусированным пучком первичных ионов) — используется при изучении свойств поверхности.

В основе *рентгеноспектрального анализа* элементного состава материалов лежит изучение рентгеновских характеристиче-

ских спектров веществ.

Схему процесса можно представить следующим образом. При облучении вещества (например, достаточно жестким рентгеновским излучением, электронами, ионами или γ -излучением) возможна ионизация атома за счет удаления электрона с ближних к ядру уровней. Через небольшой промежуток времени ионизированный атом релаксирует из возбужденного состояния, а избыточная энергия выделяется в виде рентгеновского кванта. В результате электронных переходов, заполняющих вакансии, например, на К-уровне, образуется К-серия рентгеновского спектра. Полученный таким образом спектр называется характеристическим, поскольку каждому переходу соответствует вполне определенная, характерная только для этого элемента энергия. Существует уравнение, по которому может быть рассчитано положение линий в характеристическом рентгеновском спектре:

$$\nu = cR(z - \sigma)^2 (1/n_1^2 - 1/n_2^2)$$

где ν — частота рентгеновского характеристического излучения; c — скорость света; z — заряд ядра; σ — константа экранирования; R — константа Ридберга, связанная с массой покоя и зарядом электрона; n_1 — число, определяющее серию, $n_2 = n_1 + 1, n_1 + 2, n_1 + 3, \dots$ определяет отдельные линии данной серии.

Если возбуждение характеристического рентгеновского излучения в образце осуществляется первичным рентгеновским излучением, то данный способ называется *рентгенофлуоресцентным анализом*.

В *рентгенорадиометрическом анализе* возбуждение осуществляется γ -излучением от радиоактивного изотопа.

Возбуждение сфокусированным пучком электронов с энергией в десятки кэВ применяется в *электронно-зондовом рентгено-спектральном микроанализе*.

И, наконец, возбуждение протонами или тяжелыми ионами с энергиями до единиц МэВ используется в *рентгеноспектральном анализе с ионным возбуждением*.

Независимо от способа генерации характеристического рентгеновского излучения, все эти методы идентичны. В то же время наблюдается различие по пределам обнаружения элементов, определяемым соотношением полезного сигнала и фона, а также по локальности, определяемой зоной генерации рентгеновского излучения.

На рис. 1.3 представлен пример спектра, полученного методом электронно-зондового рентгеноспектрального микроанализа

за нанопорошка гидроксида алюминия. По наличию спектральных линий K_{α} от алюминия и кислорода можно качественно судить о присутствии этих элементов в образце. Количественный анализ, представленный на рисунке в таблице, показал, что алюминий и кислород в данном материале находятся в соотношении 1:3.

Данный метод позволяет проводить количественную оценку большого числа элементов. Однако его применение ограничено при определении элементов с атомными номерами меньше, чем у Mg ($z=12$). Для определения элементов более легких, чем фтор ($z=9$), метод практически не используется из-за низкого уровня возбуждения их характеристического излучения и сильного его поглощения. В то же время, метод особенно эффективен при анализе веществ, содержащих химически сходные элементы, например металлы платиновой группы. Предел обнаружения элементов составляет 10^{-1} – $10^{-3}\%$ (по масс.). Анализируемые пробы могут представлять собой пленки, порошки, массивные образцы, жидкости. Какие-либо изменения в пробах в ходе рентгеноспектрального анализа ничтожны, в связи с чем он является методом неразрушающего контроля. Простота рентгеновских спектров по сравнению с соответствующими эмиссионными оптическими является большим достоинством метода, поскольку редкое наложение линий одного элемента на линии другого облегчает аналитическую интерпретацию экспериментальных данных. При исследовании наноматериалов применение метода может быть затруднено из-за воздействия первичного излучения на исследуемое вещество.

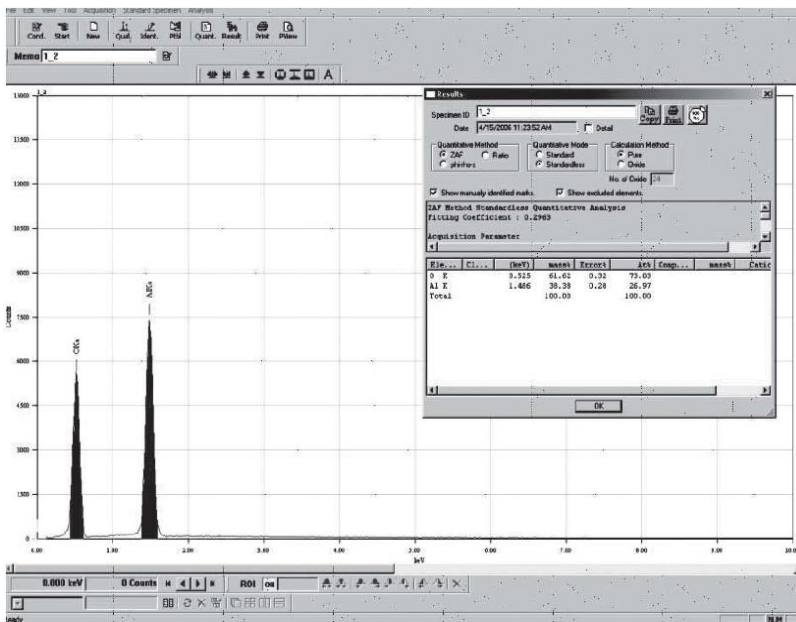


Рисунок 1.3 - Спектр нанопорошка гидроксида алюминия, полученный методом электронно-зондового рентгеноспектрально-го микроанализа

В основе *активационного анализа* лежит измерение радиоактивного излучения, возбуждаемого в пробах путем бомбардировки их высокоэнергетическими частицами или γ -квантами.

Можно представить следующую схему процесса. В результате бомбардировки атомов анализируемого вещества какими-либо частицами происходят различные ядерные реакции. В частности, частицы могут захватываться ядрами атомов, вследствие чего образуются новые, как правило, нестабильные, самопроизвольно распадающиеся ядра. Синтезированные радиоактивные изотопы имеют, чаще всего, сильно различающиеся значения периода полураспада. Измерение этой постоянной, а также учет вида распада и энергии излучения дают возможность идентифицировать большинство элементов.

Возбуждение атомов пробы проводится нейтронами, протонами, α - и β -частицами, ядрами атомов тяжелого водорода, рентгеновским и γ -излучением, которые, в свою очередь, образуются в ядерных реакторах, ускорителях, изотопных источниках и др. В зависимости от используемого излучения различают *нейтронно-активационный*, *активационный анализ с помощью заряженных частиц* и *фотонно-активационный* варианты данного метода. При

этом для определения элементного состава веществ используются только нейтронно- и фотонно-активационные способы.

В современной аналитической химии активационный анализ является одним из наиболее чувствительных методов. Для него характерна экспрессность, универсальность, высокая селективность, возможность определения одновременно нескольких элементов. Пределы обнаружения элементов составляют 10^{-6} – $10^{-8}\%$. В ходе анализа образец, как правило, не разрушается. С помощью этого метода возможен анализ металлов высокой чистоты, определение содержания в материале редких и рассеянных элементов. Автоматические методики, разработанные для массового анализа, позволяют использовать активационный метод для непрерывного контроля технологических процессов.

Все физические методы анализа элементного состава, описанные выше, являются экспрессными, что позволяет использовать их для контроля технологических процессов производства и аттестации продукции.

1.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА

Определение фазового состава материалов возможно методами рентгеновской, электронной и нейтронной дифракции.

Рентгенодифракционный анализ является самым распространенным и доступным методом. Идентификация фаз проводится путем сопоставления табличных данных и экспериментального спектра образца, причем критерием присутствия фазы в исследуемом материале является совпадение всех линий эталона и образца (с учетом их интенсивностей).

Чувствительность метода зависит от элементного состава образца, нахождения фаз в материале, их структуры и линейных размеров. Минимальное содержание фазы в исследуемом образце, определяемое этим методом, составляет от нескольких десятых до нескольких процентов. Рентгенодифракционный анализ требует для исследования небольшое количество вещества, является неразрушающим, экспрессен, он с успехом применяется как для исследования, так и для аттестации материалов.

В свою очередь, *дифракция нейтронов* позволяет успешно изучать материалы, состоящие из элементов с соседними номерами в таблице Д.И. Менделеева. Например, Co-ГЦК и Ni практически не различимы методом рентгеновской дифракции, а нейтронный анализ позволяет определять фазы этих металлов в одном образце. Кроме того, нейтроны имеют разные значения амплитуды когерентного рассеяния у различных изотопов одного и того

же элемента. Эта особенность предоставляет уникальную возможность, изменяя изотопный состав, подобрать для конкретной задачи удобное соотношение между вкладами в дифракционную картину компонентов изучаемого вещества и «занулить» один из них. Однако подобный эксперимент представляет собой длительный исследовательский процесс.

Дифракционные методы, кроме определения фазового состава кристаллических материалов, позволяют установить аморфное состояние вещества. В частности, существует определение, что *материал является аморфным, если его кристаллическое строение не удастся установить дифракционными методами*. Правда, в настоящее время с появлением ПЭМ и электронных микроскопов высокого разрешения исследуется упорядоченное распределение атомов размером в несколько нанометров. Остается при этом открытым вопрос, с какого размера материал можно считать кристаллом. Поэтому для обнаружения в материале аморфноподобных фаз дифракционные методы по-прежнему широко применяются. Аморфную фазу легко идентифицировать на любых дифрактограммах. Например, на рентгенограммах аморфная фаза дает отражение в виде диффузного гало (рис. 1.4), на электронограммах размываются кольца (рис. 1.5). На рис. 1.6 представлены нейтронограммы от кристаллического (а) и аморфного (б) веществ.

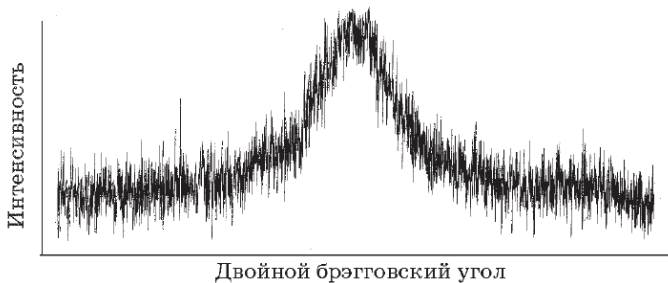


Рисунок 1.4 - Типичный вид рентгенограммы для аморфного материала

Мёссбауэровская спектроскопия (γ -резонансная спектроскопия) является очень чувствительным методом определения фазового состава материалов. Данный анализ предназначен для исследования физических и химических свойств конденсированных сред (главным образом твердых тел), а также микроскопических объектов — ядер, ионов, химических и биологических комплексов.

Эффект Мёссбауэра (ядерный γ -резонанс)—испускание или поглощение γ -квантов атомными ядрами в твердом теле, не сопровождающееся изменением колебательной энергии тела.



Рисунок 1.5 - Типичный вид электронограммы для аморфного материала

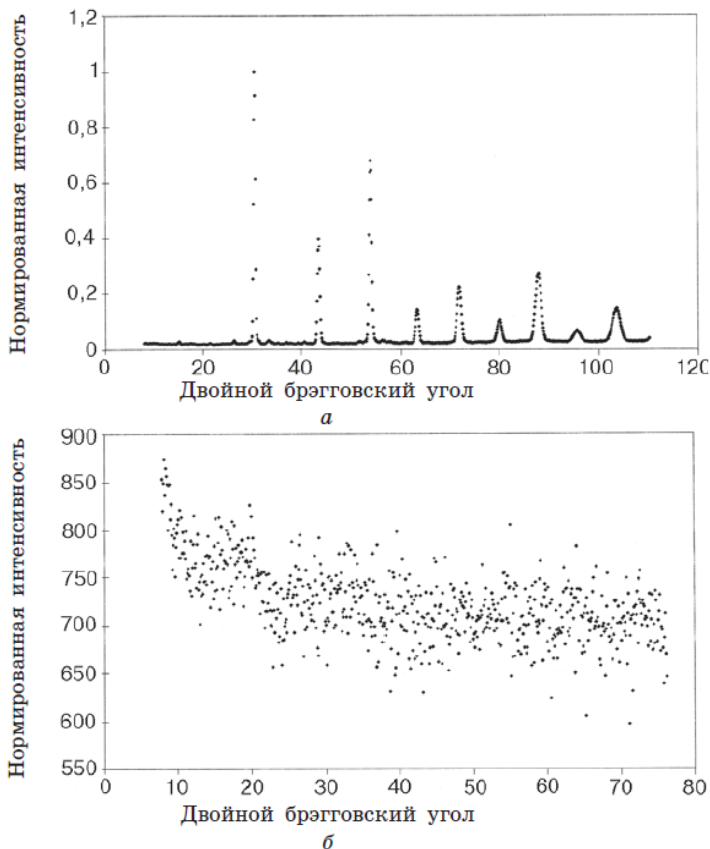


Рисунок 1.6 - Типичный вид нейтронограммы для:
а — кристаллического вещества; б — аморфного материала

Использование данного ядерного эффекта для исследования материалов обусловлено его сильной зависимостью от взаимодействия между ядром и электронами на атомных или молекулярных орбиталях.

Спектрометр Мёссбауэра состоит из следующих основных частей: источника мягкого (с энергией до 155 кэВ) γ -излучения; поглотителя (или отражателя), содержащего исследуемое вещество, и детектора для регистрации мягкого γ -излучения. Чаще всего источником излучения для получения эффекта Мёссбауэра служит радиоактивный изотоп с удобным для работы периодом полупревращения. При радиоактивном распаде образуется изотоп нового элемента в возбужденном состоянии, переход которого в

основное состояние сопровождается мягким γ -излучением. Например, одним из самых распространенных источников является изотоп ^{57}Co , период полураспада которого составляет 270 суток. В результате радиоактивного распада образуется изотоп ^{57}Fe в возбужденном состоянии, переход которого в основное состояние сопровождается излучением γ -квантов с энергией 14,4 кэВ.

Поглотителем этого излучения могут быть только ядра ^{57}Fe . Естественное содержание данного изотопа в железе составляет 2,17%.

Использование эффекта Мёссбауэра для определения фазового состава вещества основано на следующих физических явлениях. В различных фазах атомы одного и того же элемента находятся в химически не тождественном состоянии. При этом перераспределяются электронная плотность и электрический заряд в ядре, что приводит к изменению величины кулоновского взаимодействия ядра с электронной оболочкой. Все эти процессы находят свое отражение в мёссбауэровском спектре.

Данный анализ обладает высокой чувствительностью: можно определить несколько десятых долей процента данной фазы в образце, причем ее дисперсность и положение в материале не имеют значения. Например, в нанопорошке железа установлено присутствие оксидной фазы на поверхности вещества толщиной в 1 нм (рис. 1.7).

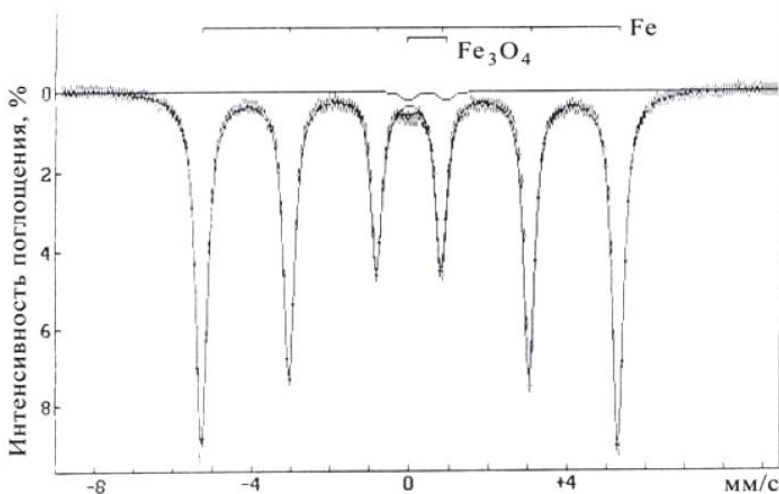


Рисунок 1.7 - Мёссбауэровский спектр нанопорошка железа
Ряд принципиальных ограничений препятствует широкому использованию мёссбауэровской спектроскопии. Прежде всего,

эффект Мёссбауэра наблюдается только для 41 элемента Периодической таблицы. При этом в каждом эксперименте могут быть обнаружены лишь атомы одного сорта в зависимости от природы источника.

1.4. СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ СТРУКТУРНЫМ (ФАЗОВЫМ) СОСТАВОМ СПЛАВА ПО ОБЪЕМУ И ЕГО ХИМИЧЕСКИМ СОСТАВОМ ПО МАССЕ

Структурный объемный состав сплава связан с его химическим составом. В формулы, связывающие химический состав по массе и структурный (фазовый) состав сплава по объему, обязательно входят величины плотностей сплава и его структурных составляющих. Сопоставление химического состава с объемным структурным составом позволяет взаимно проверить правильность данных, полученных при химическом и стереометрическом анализах. Кроме того, такое сопоставление позволяет определять химический состав или плотность некоторых структурных составляющих, которые могут быть выделены из сплава и исследованы отдельно.

Примем следующие обозначения химического состава и плотности отдельных структурных составляющих или фаз и их содержания в сплаве по массе и по объему:

- отдельные структурные составляющие (или фазы) сплава: α, β, γ
- объемная доля структурных составляющих в сплаве: $\Sigma V_{\alpha}, \Sigma V_{\beta}, \Sigma V_{\gamma}$
- содержание структурной составляющей в сплаве % (по массе): $G_{\alpha}, G_{\beta}, G_{\gamma}$
- плотность структурных составляющих, г/см³: $d_{\alpha}, d_{\beta}, d_{\gamma}$
- содержание какого-либо элемента \mathcal{E} в структурной составляющей, % (по массе): $\mathcal{E}_{\alpha}, \mathcal{E}_{\beta}, \mathcal{E}_{\gamma}$.

Плотность сплава d_c (г/см³) складывается из масс всех его структурных составляющих, находящихся в единице объема сплава (в 1 см³). В свою очередь масса каждой из структурных составляющих в единице объема сплава равна ее объемной доле, умноженной на плотность этой составляющей. Поэтому

$$d_c = d_{\alpha}\Sigma V_{\alpha} + d_{\beta}\Sigma V_{\beta} + d_{\gamma}\Sigma V_{\gamma}, \text{ г/см}^3 \quad (1)$$

Если в сплаве имеются поры или рассеянные пустоты различного происхождения, их также следует учитывать как самостоятельную составляющую с плотностью, практически равной нулю.

Если известен полный структурный состав сплава по объему

му, содержание любой из его структурных составляющих по массе определяют по формуле:

$$G_{\alpha} = \frac{d_{\alpha} \sum V_{\alpha}}{d_{\alpha} \sum V_{\alpha} + d_{\beta} \sum V_{\beta} + d_{\gamma} \sum V_{\gamma} + \dots} \cdot 100\% \quad (2)$$

Многочлен в знаменателе формулы (2) представляет собой плотность самого сплава d_c . Поэтому, если плотность сплава известна по непосредственному экспериментальному измерению (например, методом гидростатического взвешивания), можно пользоваться более простой формулой:

$$G_{\alpha} = \frac{d_{\alpha} \sum V_{\alpha}}{d_c} \cdot 100\% \quad (3)$$

Эта формула позволяет определить любую из трех величин — содержание структурной составляющей по массе G_{α} , ее объемную долю $\sum V_{\alpha}$ плотность d_{α} , если известны две из этих величин и плотность самого сплава.

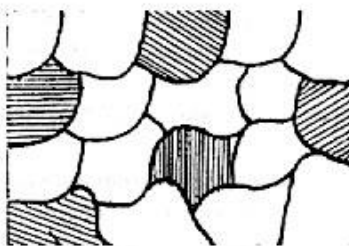
Интересующая нас структурная составляющая, вообще говоря, может не быть химическим элементом, а иметь сложный состав, являясь химическим соединением, твердым раствором или многофазным образованием (эвтектикой, эвтектоидом). Пусть содержание какого-либо элемента в этой составляющей равно \mathcal{A}_{α} , % (по массе), содержание такого же элемента в сплаве \mathcal{A} % (по массе), причем элемент полностью сосредоточен только в интересующей нас составляющей. Тогда содержание этой составляющей в сплаве, % (по массе), входящее в формулы (2) и (3), определим выражением

$$G_{\alpha} = \frac{\mathcal{A}}{\mathcal{A}_{\alpha}} \cdot 100\% \quad (4)$$

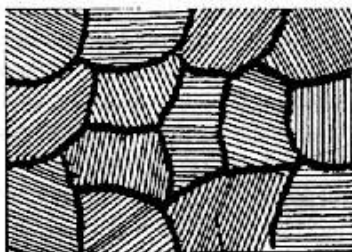
Ниже приведены плотности (г/см³) некоторых структурных составляющих железоуглеродистых сплавов, которые могут быть использованы при расчетах по формулам (1)—(4): феррит 7.874, цементит 7.662, графит 2.216, перлит 7.848, фосфид железа 6.74, двойная фосфидная эвтектика 7.14, сульфид железа (FeS) 4.30, сульфид марганца (MnS) 3.99, кремнезем (SiO₂) 2.26 – 2.31, глинозем (Al₂O₃) 3.85 – 4.10, ортосиликат марганца (2MnO-SiO₂) 3.58 – 3.70, силикат глинозема (Al₂O₃ -SiO₂) 3.05, ортосиликат железа (2FeO-SiO₂) 4.35, окись магния (MgO) 3.50 – 3.65, закись марганца 4.73 – 5.50.

Металлографическое определение углерода в отожженных сталях.

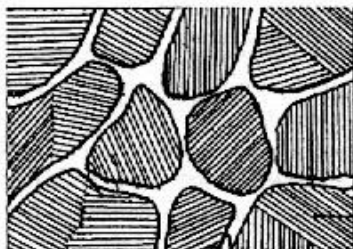
Если углеродистая сталь хорошо отожжена (рис. 1.8), т.е. приведена в равновесное состояние, то микроструктурным анализом можно определить содержание в ней углерода.



а)



б)



в)

Рисунок 1.8 - Микроструктура углеродистых сталей (слева схематичное изображение, справа фотография): а) доэвтектоидной; б) эвтектоидной; в) заэвтектоидной.

Такие определения фактически выполняют только для

доэвтектоидных сталей (рис. 1.8, а), так как в заэвтектоидных сталях (рис. 1.8, в) значительное изменение в содержании углерода мало и почти незаметно изменяет микроструктуру.

Углерод в доэвтектоидной стали распределен между избыточным ферритом и перлитом. В феррите содержатся тысячные доли процента углерода, которыми можно пренебречь и считать, что практически весь углерод в доэвтектоидной стали находится в перлите. В перлите содержится 0,8 %С. В доэвтектоидной стали на перлит приходится только часть сплава, и содержание углерода в весовых процентах пропорционально площади шлифа, занимаемой перлитом. Эта пропорция вытекает из примерного равенства удельных весов феррита и перлита; в противном случае по микроструктуре можно было бы судить только об объемном соотношении.

Содержание углерода в доэвтектоидной стали:

$$\% C = (0,8 \times F_{\text{п}}) / 100,$$

где $F_{\text{п}}$ – площадь, занятая перлитом (в %) в поле зрения микроскопа.

$F_{\text{п}}$ чаще всего оценивают на глаз. Такой метод может показаться слишком грубым, но в действительности же он дает хорошие результаты. Если абсолютная ошибка в оценке площади, занимаемой перлитом, составляет 10%, то абсолютная ошибка в определении содержания углерода составляет всего 0,08%.

1.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА СПЛАВА ПУТЕМ РАСШИФРОВКИ ЕГО МАРКИ

В большинстве случаев, возможно определить химический состав материала раскрыв содержание всех букв и цифр его марки. Следует иметь в виду, что в ряде сплавов содержание компонентов прямо не указано в марке, но следует из принципов маркировки данного материала и может быть отражено при расшифровке.

Углеродистые конструкционные стали.

Углеродистая конструкционная сталь обыкновенного качества (общего назначения) ГОСТ 380-2005: Ст0, Ст1кп, Ст1пс, Ст2кп, Ст3сп, Ст3Гсп, Ст4кп, Ст5Гсп, Ст6пс и др.

Буквы Ст в маркировке сталей обозначают сталь обыкновенного качества; буква Г – повышенное содержание марганца. Буквы кп (сталь кипящая), пс (сталь полуспокойная), сп (сталь спокойная) обозначают способ раскисления (процесс удаления из стали кислорода, который является вредной примесью). Цифры, стоящие после букв Ст, обозначают **условный** номер марки в

зависимости от массовой доли химических элементов и механических свойств стали. Чем больше номер, тем больше углерода и других химических элементов и механических свойств стали, а также выше ее механические свойства. Эти стали хорошо свариваются, куются, штампуются и обрабатываются резанием. Применяются для изготовления сварных строительных конструкций, крепежных изделий, малонагруженных деталей машин, а также стандартных и нормализованных деталей: рукояток, кнопок, ручек, заглушек, пробок, петель шарнирных и т.д.

Углеродистая конструкционная качественная сталь ГОСТ 1050-88: 05кп, 08кп, 08пс, 10пс, 15кп, 15пс, 15,18кп, 20кп, 20пс, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60.

Цифры в маркировке указывают среднюю долю углерода в сотых долях процента. Буквы кп, пс обозначают способ раскисления (кп – кипящие, пс – полуспокойные). В марках, где способ раскисления не указан, сталь спокойная. С увеличением массовой доли углерода повышаются механические свойства. Из низкоуглеродистых качественных сталей марок 05, 08кп, 08пс, 10, 10пс, 10кп изготавливают детали штамповкой и холодной высадкой: трубки, прокладки, колпачки, крепежные детали, шайбы, вилки, втулки и тяги. Стали марок 15, 20, 25 идут на изготовление малонагруженных деталей машин – валиков, втулок, пальцев, упоров, копиров, осей, шестерен и других деталей, работающих при температурах 40...425^oC. Стали марок 30-60 идут на изготовление отечественных деталей машин, улучшаемых путем закалки с последующим отпуском и нормализацией: шатунов, коленчатых валов, шлицевых валиков, тяг, штоков, сухарей, зубчатых колес и др.

Углеродистые инструментальные стали ГОСТ 1435-99.

В зависимости от химического состава углеродистая инструментальная сталь выпускается следующих марок:

- качественная сталь – У7, У8, У8Г, У9, У10, У11, У12, У13;
- высококачественная сталь – У7А, У8А, У8ГА, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А.

В маркировке буква У обозначает, что сталь углеродистая инструментальная. Цифры, следующие за буквой У, соответствуют массовой доле углерода в десятых процента. Буква Г указывает на повышенное содержание марганца (0,4...0,6%); буква А, стоящая в конце марки, - на то, что сталь высококачественная, имеет пониженное содержание вредных примесей (серы и фосфора). Марки стали без буквы А в обозначении – качественные.

Из-за ограниченной свариваемости эта сталь не применяется для сварных конструкций, но при необходимости сваривается методом контактной сварки. Углеродистые инструментальные стали находят широкое применение для изготовления слесарно-монтажного, измерительного, столярно-плотничного инструмента: зубила, долота, плоскогубцы, пилы, фрезы, зенковки, калибры, сверла, надфили, напильники и т.д. Инструмент, изготовленный из углеродистых инструментальных сталей, обладает хорошими режущими свойствами.

Легированные конструкционные стали.

Легированные стали маркируются цифрами, указывающими массовую долю углерода и легирующих элементов, и буквами, обозначающими легирующие элементы. Буквой А в конце марки обозначают сталь высококачественную, а буквой Ш – особовысококачественную. Эти стали имеют пониженную массовую долю вредных примесей – серы и фосфора. Цифры, стоящие вначале, указывают на содержание углерода в конструкционных сталях – в сотых долях процента, в инструментальных – в десятых долях процента. Если впереди марки цифр нет, то массовая доля углерода в пределах 1%. Цифры, стоящие после букв, соответствуют массовой доле легирующих элементов в процентах. Если после букв цифр нет, то массовая доля элементов в пределах 1%. Например, 18Х2Н4МА – легированная конструкционная высококачественная сталь (с пониженным содержанием серы и фосфора), 2% хрома, 4% никеля, 1% молибдена, 0,18% углерода. Так как массовая доля углерода до 0,3%, сталь является цементуемой, т.е. подвергается химико-термической обработке.

Согласно ГОСТ 5950-73 приняты условные буквенные обозначения легирующих элементов: алюминий – Ю, азот – А, бор – Р, ванадий – Ф, вольфрам – В, кобальт – К, кремний – С, никель – Н, ниобий – Б, селен – Е, хром – Х, цирконий – Ц, титан – Т, фосфор – П, редкоземельные металлы – РЗМ. Кроме того, стандартом предусмотрены и другие обозначения отдельных групп легированных сталей: Р (впереди марки) – быстрорежущие; Ш (в конце марки) – сталь особовысококачественная; Ш (впереди марки) – сталь подшипниковая; А (впереди марки) – сталь автоматная; А (в конце марки) – сталь высококачественная; А (в середине марки) – сталь с содержанием азота; Э – сталь электротехническая; и т.д.

Принцип маркировки легированных конструкционных сталей рассмотрим на примерах. Марка 15ХА – стал легированная конструкционная, цементуемая, высококачественная, массовая доля углерода – 0,15%, хрома – около 1%, с пониженным содер-

жанием вредных примесей (серы и фосфора). Марка 30ХГСН2А – сталь легированная конструкционная улучшаемая, высококачественная, массовая доля углерода – 0,3%, хрома, марганца, кремния по 1%, никеля – 2%, имеет пониженное содержание вредных примесей.

Легированные конструкционные стали подразделяются на улучшаемые термической обработкой и цементуемые, т.е. подвергаемые химико-термической обработке.

Цементуемые легированные стали – это низкоуглеродистые (до 0,3% углерода), низко- и среднелегированные стали марок 15Х, 20Х, 15Г, 20Г, 10Г2, 18ХГТ, 20ХГТ и др. Легированные цементуемые конструкционные стали применяются для изготовления деталей, работающих в условиях трения при незначительных нагрузках: втулок, пальцев, валиков, толкателей, шестерен и др.

Улучшаемые легированные стали – это среднеуглеродистые (массовая доля углерода – более 0,3%) и среднелегированные стали марок 30Х, 30Г, 35Х, 38ХА, 40Х, 50Х, 50Г, 50Г2, 30ХГТ и др. Улучшаемые легированные конструкционные стали применяются для изготовления деталей, работающих при средних и высоких нагрузках: шпинделей, подшипников скольжения, червячных валов, роторов, рычагов, толкателей, блоков, крепежных деталей, работающих при высоких температурах, крупных зубчатых колес, валиков горячей прокатки.

Легированные инструментальные стали.

Быстрорежущие инструментальные стали – высококачественные стали, предназначенные для изготовления режущего инструмента, работающего при высоких режимах резания. Марки: Р9, Р18, Р6АМ, Р6М5К5, 11РЗАМЗФ, Р6АМ5Ф2, Р12Ф3, Р18К5Ф2, Р9М4К8.

В маркировке быстрорежущих сталей приняты следующие обозначения: буквой Р обозначаются все быстрорежущие стали. Цифра, стоящая справа после буквы Р, указывает на среднюю массовую долю основного легирующего элемента – вольфрама. Буква К означает кобальт, М – молибден, А – азот.

Из быстрорежущих сталей делают токарные, строгальные резцы, фрезы, развертки, модульные фрезы, долбяки, протяжки, сверла, метчики плашки.

Высоколегированные стали.

Коррозионно-стойкие (нержавеющие) стали и сплавы – конструкционные материалы, которые сопротивляются химического и электрохимического воздействию окружающей среды.

Хром и никель являются постоянными легирующими эле-

ментами при получении коррозионно-стойких сталей: 12Х12, 20Х13, 30Х13, 40Х13, 08Х13, 12Х21Н5Т, Х28АН и др.

Углеродистые и легированные стали специального назначения.

Рессорно-пружинная сталь ГОСТ 14959-79 выпускается качественной, высококачественная, а также углеродистой (65, 70, 80, 85, 60Г, 65Г, 70Г) и легированной (55С2, 55С2А, 60С2, 70С3А, 60С2Г, 50ХГ, 50ХГА и др.). Цифры в маркировке углеродистых сталей указывают среднюю массовую долю углерода в сотых долях процента; буква Г, стоящая справа после цифры, повышенное содержание марганца. В обозначении легированных сталей цифры, стоящие впереди марки, показывают на массовую долю углерода в сотых долях процента.

Шарикоподшипниковая сталь ГОСТ 801-78 (ШХ4, ШХ6, ШХ9, ШХ15, ШХ15СГ). В маркировке этих сталей приняты следующие обозначения: буквы ШХ – шарикоподшипниковая хромистая; буквы С, Г – легирующие элементы (кремний и марганец); цифры показывают количество хрома в десятых долях процента.

Цветные металлы и сплавы.

Медь и её сплавы. Технически чистая медь обладает высокими пластичностью и коррозионной стойкостью, малым удельным электросопротивлением и высокой теплопроводностью.

По чистоте медь подразделяют на марки (ГОСТ 859-78):

Марка меди	МВЧ	МОО	МО	М1	М2	М3
% Cu+Ag, не менее	99,993	99,99	99,95	99,9	99,7	99,5

После обозначения марки указывают способ изготовления меди: к - катодная, б - бескислородная, р - раскисленная. Медь огневого рафинирования не обозначается.

Примеры: МООк - технически чистая катодная медь, содержащая не менее 99,99% меди и серебра; М3 - технически чистая медь огневого рафинирования, содержит не менее 99,5% меди и серебра.

Медные сплавы разделяют на бронзы и латуни.

Бронзы - это сплавы меди с оловом (4 - 33%) Sn хотя бывают без оловянные бронзы), свинцом (до 30% Pb), алюминием (5-11% Al), кремнием (4-5% Si), сурьмой и фосфором (ГОСТ 493-79 , ГОСТ 613-79, ГОСТ 5017-74, ГОСТ 18175-78).

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

(ГОСТ 15527-70, ГОСТ 17711-80).

Медные сплавы предназначены для изготовления деталей методами литья, называют литейными, а сплавы, предназначенные для изготовления деталей пластическим деформированием - сплавами, обрабатываемыми давлением.

Медные сплавы обозначают начальными буквами их названия (Бр или Л), после чего следуют первые буквы названий основных элементов, образующих сплав, и цифры, указывающие кол-во элемента в процентах.

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

Примеры: БрА9Мц2Л - бронза, содержащая 9% алюминия, 2% Мп, остальное Сu ("Л" указывает, что сплав литейный); ЛЦ40Мц3Ж - латунь, содержащая 40% Zn, 3% Мп, ~1% Fe, остальное Сu; БрОФ8,0-0,3 - бронза наряду с медью содержащая 8% олова и 0,3% фосфора; ЛАМш77-2-0,05 - латунь содержащая 77% Сu, 2% Al, 0,055 мышьяка, остальное Zn (в обозначении латуни, предназначенной для обработки давлением, первое число указывает на содержание меди).

В несложных по составу латунях указывают только содержание в сплаве меди: Л96 - латунь содержащая 96% Сu и ~4% Zn (томпак); Л63 - латунь содержащая 63% Сu и ~37% Zn.

Алюминий и его сплавы. Алюминий - легкий металл, обладающий высокими тепло- и электропроводностью, стойкий к коррозии.

В зависимости от степени частоты первичный алюминий согласно ГОСТ 11069-74 бывает особой (А999), высокой (А995, А95) и технической чистоты (А85, А7Е, АО и др.). Алюминий маркируют буквой А и цифрами, обозначающими доли процента свыше 99,0% Al. Буква "Е" обозначает повышенное содержание железа и пониженное кремния. Примеры: А999 - алюминий особой чистоты, в котором содержится не менее 99,999% Al; А5 - алюминий технической чистоты в котором 99,5% алюминия.

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

Деформируемые алюминиевые сплавы хорошо обрабатываются прокаткой, ковкой, штамповкой. Их марки приведены в ГОСТ4784-74.

К деформируемым алюминиевым сплавам не упрочняемым термической обработкой, относятся сплавы системы Al-Mn (АМц1, АМцС) и Al-Mg (АМг, АМг1, АМг2, АМг3). Аббревиатура включает в себя начальные буквы, входящие в состав сплава компонентов и цифры, указывающие содержание легирующего элемента в процентах.

К деформируемым алюминиевым сплавам, упрочняемым термической обработкой, относятся сплавы системы Al-Cu-Mg с добавками некоторых элементов (дуралюмины, ковошные сплавы), а также высокопрочные и жаропрочные сплавы сложного хим. состава.

Дуралюмины маркируются буквой "Д" и порядковым номером, например: Д1, Д12, Д18, АК4, АК8. Чистый деформируемый алюминий обозначается буквами "АД" и условным обозначением степени его чистоты: АДоч (99,98% Al), АД000 (99,80% Al), АД0 (99,50% Al), АД1 (99,30% Al), АД (99,00% Al).

Литейные алюминиевые сплавы (ГОСТ 2685-75) обладает хорошей жидкотекучестью, имеет сравнительно небольшую усадку и предназначены в основном для фасонного литья. Эти сплавы маркируются буквами "АЛ" с последующим порядковым номером: АЛ2, АЛ9, АЛ13, АЛ22, АЛ30. Иногда маркируют по составу: АК7М2; АК21М2, 5Н2,5; АК4МЦ6. В этом случае "М" обозначает медь, "К" - кремний, "Ц" - цинк, "Н" - никель; цифра - среднее % содержание элемента.

Из алюминиевых антифрикционных сплавов (ГОСТ 14113-78) изготавливают подшипники и вкладыши как литьем так и обработкой давлением. Такие сплавы маркируют буквой "А" и начальными буквами входящих в них элементов: АО9-2, АО6-1, АН-2,5, АМСТ. В первые два сплава входят в указанное количество олова и меди (первая цифра-олово, вторая-медь в %), в третий 2,7-3,3% Ni и в четвертый медь сурьма и теллур.

Титан и его сплавы. Титан - тугоплавкий металл с невысокой плотностью. Удельная прочность титана выше, чем у многих легированных конструкционных сталей, поэтому при замене сталей титановыми сплавами можно при равной прочности уменьшить массу детали на 40%. Титан хорошо обрабатывается давлением, сваривается, из него можно изготовить сложные отливки, но обработка резанием затруднительна.

Для получения сплавов с улучшенными свойствами его легируют алюминием, хромом, молибденом. Титан и его сплавы маркируют буквами "ВТ" и порядковым номером: ВТ1-00, ВТ3-1, ВТ8, ВТ14. Пять титановых сплавов обозначены иначе: ОТ4-0,

ОТ4, ОТ4-1, ПТ-7М, ПТ-3В.

Магний и его сплавы. Среди промышленных металлов магний обладает наименьшей плотностью (1700кг/м^3). Магний и его сплавы неустойчивы против коррозии, при повышении температуры магний интенсивно окисляется и даже самовоспламеняется. Он обладает малой прочностью и пластичностью, поэтому как конструкционный материал чистый магний не используется.

Для повышения химико-механических свойств в магниевые сплавы вводят алюминий, цинк, марганец и другие легирующие добавки. Магниевые сплавы подразделяют на деформируемые (ГОСТ 14957-76) и литейные (ГОСТ 2856-79). Первые маркируются буквами "МА", вторые "МЛ". После букв указывается порядковый номер сплава в соответствующем ГОСТе. Например: МА1 - деформируемый магниевый сплав №1; МЛ19 -литейный магниевый сплав №19.

1.6. РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Штейнберг А.С. Репортаж из мира сплавов. – М.: Наука, 1989. – 256 с.
2. Рыжонков Д.И., Лёвина В.В., Дзидзигури Э.Л. Наноматериалы: учебное пособие. – М.: БИНОМ, 2010. – 365 с.
3. Оптико-электронные приборы для научных исследований: учеб. пособие / под ред. д.т.н. проф. Л.А. Новицкого. - М.: Машиностроение, 1986. - 432 с.
4. Домбровский Ю.М. Стереология: учебное пособие. – Ростов н/Д: ДГТУ, 2002. – 101 с.
5. Марочник сталей и сплавов : под ред. А.С. Зубченко. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 2003. - 782 с.
6. Марочник сталей и сплавов / Под ред. В.Г. Сорокина. - М.: Машиностроение, 1989. - 639 с.

2. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ МАТЕРИАЛОВ

2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ

Задача улучшения качества промышленной продукции, повышение надежности и долговечности машин и механизмов может быть успешно решена при условии совершенствования методов контроля качества продукции.

Контроль качества продукции заключается в проверке со-

ответствия показателей ее качества установленным требованиям. Важным критерием высокого качества деталей машин являются физические, геометрические и функциональные показатели, а также технологические признаки качества.

Существующие средства неразрушающего контроля предназначены для выявления следующих дефектов: нарушения сплошности материала изделия; оценки структуры материала изделий; контроля геометрических параметров изделия; оценки физических и химических свойств материала изделий.

Контроль с применением дефектоскопов основан на получении информации в виде электрических, световых, звуковых и других сигналов о качестве проверяемых объектов.

В зависимости от принципа работы контрольных средств все известные методы неразрушающего контроля подразделяются на: акустические, капиллярные, магнитные, оптические, радиационные, тепловые методы контроля течеисканием, электрические и электромагнитные.

К неразрушающим методам контроля предъявляются основные требования:

- возможность осуществлять контроль на различных стадиях изготовления, эксплуатации и при работе изделия;
- возможность контроля качества продукции по большинству заданных параметров;
- высокая достоверность результатов контроля;
- возможность механизации и автоматизации контроля, технологических процессов;
- высокая надежность дефектоскопической аппаратуры и возможность использовать ее в различных условиях;
- простота методики контроля, техническая доступность средств контроля в условиях производства, ремонта и эксплуатации.

2.2. ДЕФЕКТЫ В МАТЕРИАЛАХ

2.2.1. Виды дефектов

Дефектом называется каждое отдельное несоответствие продукции требованиям, установленным нормативной документацией.

Дефекты подразделяются на *явные, скрытые, критические, значительные и малозначительные, исправимые и неисправимые.*

Явные дефекты выявляются невооруженным глазом, а *скрытые* находятся под поверхностью изделия.

Выявленные дефекты в зависимости от влияния их на служебные свойства детали могут быть критическими, значительными и малозначительными. При этом учитывают характер, размеры, место расположения дефекта на детали, назначение детали и условия эксплуатации.

Критическим называется дефект, при наличии которого использование детали по назначению невозможно в силу несоответствия требованиям безопасности.

Значительным является такой дефект, который влияет на использование детали по назначению и на ее долговечность, но не является критическим.

Малозначительный дефект не оказывает влияния на использование и надежность изделия.

По происхождению дефекты подразделяются на:

- **производственно-технологические** – это дефекты металлургические, возникающие при отливке и прокатке;

- **технологические**, возникающие при изготовлении и ремонте деталей (сварке, клепке, пайке, термической обработке и т.д.);

- **эксплуатационные**, возникающие в деталях в результате усталости металла, коррозии, изнашивания и др.

2.2.2. Характеристика дефектов

2.2.2.1. Литейные дефекты

Горячие трещины – хорошо видимые разрывы поверхности отливки, с неровными рваными краями и значительной шириной, распространяющиеся по границам кристаллов и имеющие неровную окисленную поверхность. Образуются вследствие усадки при застывании расплава в формах.



Рисунок 2.1 - Трещины в сутунках

Холодные трещины – тонкие разрывы поверхности отливки, имеющие обычно чистую, светлую или с цветами побежалости зернистую поверхность. Образуются из-за внутренних напряжений или механического воздействия при температуре ниже температуры свечения отливки. Холодные трещины распространяются по зернам (а не по их границам), располагаются они преимущественно в острых углах и других местах концентрации напряжений.

Термические трещины – хорошо видимые глубокие разрывы поверхности отливки. Поверхность излома раскрытой трещины – мелкозернистая, окисленная или с цветами побежалости. Причина возникновения – высокие температурные растягивающие напряжения, совпадающие по знаку с остаточными напряжениями.

Газовые раковины – закрытые или открытые полости округлой формы с чистой и гладкой, иногда окисленной, поверхностью, находящиеся в теле отливки. Образуются при затвердевании металла вокруг пузырьков газа. Причиной образования газовых раковин может быть быстрое охлаждение металла в литейных формах, при котором растворенные газы (кислород, азот, водород, водяные пары и т.д.) не успевают выделиться из отливки.

Усадочные раковины – открытые или закрытые большие полости произвольной формы с грубой, шероховатой, иногда окисленной, поверхностью, находящиеся в теле отливки. Образуются в утолщенных местах отливки вследствие неравномерной усадки металла при затвердевании. Усадочные раковины расположены между коркой и сердцевинной отливки.

Рыхлота – местное скопление мелких раковин при крупнозернистой структуре металла.

Пористость – местное скопление мелких газовых или усадочных раковин. Газовая пористость наблюдается в большем объеме отливки или отдельных ее участках.

Песчаная раковина – полость в отливке, полностью или частично заполняемая формовочным материалом.

Шлаковая раковина – полость, заполненная шлаком.

Неметаллические включения – это:

а) попавшие в металл извне частицы шлака, графита, огнеупора, песка и т.д., которые чаще всего расположены в верхней части отливки;

б) включения, образующиеся внутри металла вследствие химического воздействия компонентов при расплавлении и за-

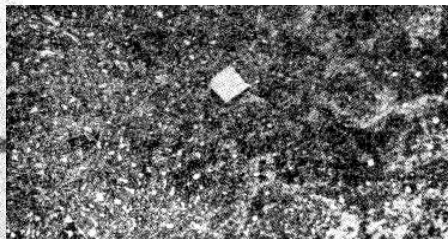
ливке сплава (окислы, сульфиды, силикаты, нитриды и др.).

Располагаются в виде цепочек или сетки по границам зерен, по форме бывают округлые или удлиненные.

Металлические включения – инородные металлические тела в основном металле отливки. Такими телами могут быть нерасплавленный легирующий компонент, модификатор и т.д.



пластичные силикаты



нитриды



окислы алюминия



сульфиды

Рисунок 2.2 - Неметаллические включения

Утяжина – дефект в виде углубления с пологими краями на массивной части отливки, образующийся вследствие усадки металла при затвердевании.

Плены в отливках – пленки на поверхности или внутри отливки, состоящие из окислов, части с включениями формовочного материала. К образованию плены склонны высоколегированные специальные сплавы. Плены образуются в результате того, что при заполнении формы компоненты сплава вступают в химическую реакцию с атмосферой и материалом формы, а из продуктов реакции на поверхности сплава образуется тугоплавкая и плотная пленка.

Спаи – сквозные или поверхностные с закругленными краями щели или углубления в теле отливки, образованные неслившимися потоками преждевременно застывшего металла.

Разностенность – дефект увеличения или уменьшения толщины стенок отливки вследствие смещения, деформации или всплывания стержня.

Ликвационные зоны – неравномерность химического состава

ва металла в объеме отливки.

2.2.2.2. Дефекты прокатного и ковального металла

Рванины – разрывы и надрывы металла разнообразного очертания с рваными краями. Чаще расположены на кромках листов, профилей.

Закаты – вдавленные и закатанные в прокатываемом металле заусенцы или возвышения (бугорки) на поверхности, получившиеся при предыдущем пропуске слитка через калибр прокатного станка. Закат, образующийся от заусенца, похож на продольную трещину, а от возвышенности – на плену с криволинейным замкнутым контуром.

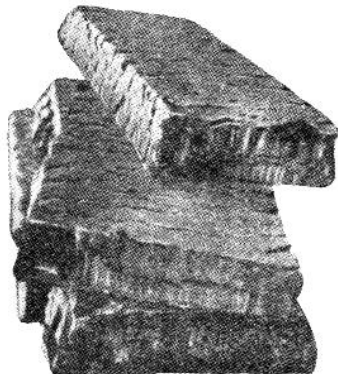


Рисунок 2.3 - Рванины

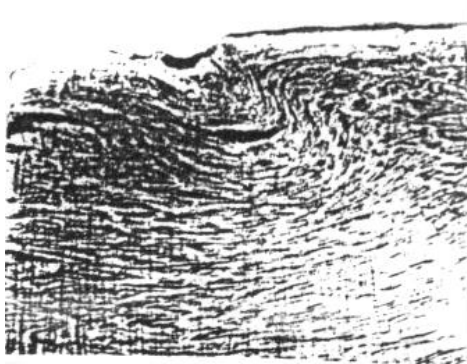


Рисунок 2.4 - Закаты

Волосовины – мелкие внутренние или выходящие на поверхность трещины, образовавшиеся из газовых пузырей или неметаллических включений при прокате или ковке. Они направлены вдоль волокон металла и в поперечном изломе видны как точки. Шлаковые и песчаные включения не способны пластически деформироваться, и при обжатии слитка они распадаются на большее число обломков с острыми углами, образуя при вытяжке цепочки вдоль волокон. Длина волосовин 20 – 30 мм, а иногда и 100 – 150 мм. Встречаются волосовины во всех конструкционных сталях.

Расслоения – нарушения сплошности внутри прокатного металла, представляющие собой крупные дефекты слитка (усадочные раковины, усадочная пористость, скопление пузырей или неметаллических включений).

Характерным для расслоения является то, что поверх-

ность нарушения сплошности параллельна плоскости прокатки. Так, раскатные неметаллические включения дают внутреннюю прослойку, разделяющую лист или профиль на две, три или несколько частей.

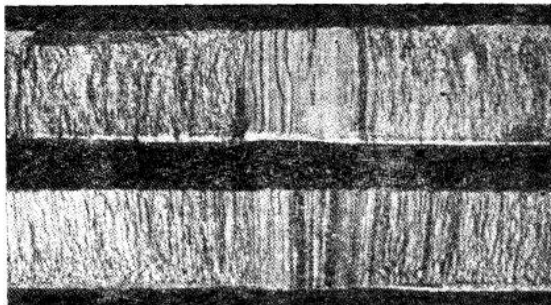


Рисунок 2.5 - Расслоения

Флокены – представляют собой волостые трещины с кристаллическим строением поверхностей стенок, образующиеся внутри толстого проката или паковки (диаметр более 30 мм).

Флокены можно наблюдать на изломах в виде пятен круглой или овальной формы, имеющих серебристо-белую блестящую окраску, на макро- и микрошлифах - в виде прямых, иногда извилистых линий длиной до 5-10 мм и более. Причины образования флокена – возникновение значительных структурных напряжений и охрупчивание стали в сердцевине, вызванное присутствием водорода, не успевшего выделиться из металла при быстром охлаждении.

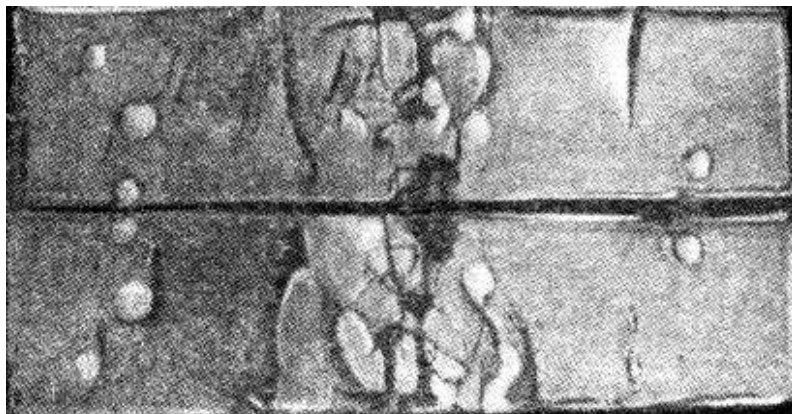


Рисунок 2.6 – Флокены

Внутренние разрывы – крупные нарушения сплошности внутренней части заготовки, периодически повторяющиеся по ее длине. Поверхность излома по разрыву – крупнокристаллическая. Разрывы возникают под влиянием сил растяжения вследствие неодинаковой деформации наружных и внутренних слоев прокатываемого металла с малой пластичностью. Наблюдаются при прокатке высоко-легированных сталей.

Трещины бывают одиночные и групповые, расположенные беспорядочно или идущие в определенном направлении. По длине они достигают несколько метров, глубина трещин в зависимости от размеров порока может быть до 10 - 15 мм.

Плены прокатного металла – представляют собой сравнительно тонкие плоские отслоения на его поверхности. В большинстве случаев плены имеют вид «языка», у которого уширенный и утолщенный конец составляют одно целое с основной массой металла. По размерам плены бывают от мелких едва заметных чешуек до 100 мм и более по длине и ширине (в толстых местах); толщина плена колеблется от 0,1-5 мм и более.

Причины образования плен при прокате – неудовлетворительное качество слитков и нарушение режимов прокатки.

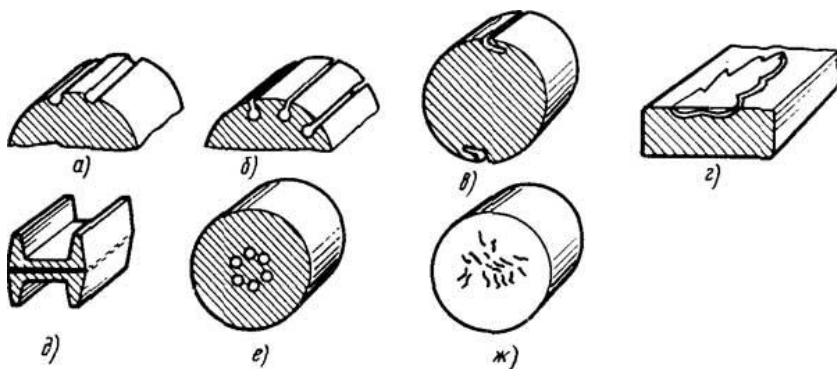


Рисунок 2.7 – Виды дефектов катанного металла: а – риски, б - волосовины, в – закаты, г – плены, д – расслоения, е - инородные включения, ж – флокены.

2.2.2.3. Дефекты, возникающие в сварных соединениях деталей

Трещины сварного шва:

1. Горячие трещины образуются в переходной зоне от шва к основному металлу. Форма извилистая, в изломе имеют темный цвет, сильно окисленные, распространяются по границам зерен, могут быть сквозные и несквозные, возникают при сварке сталей малой толщины (до 3 мм), склонных к образованию трещин при высоких температурах вследствие нарушения технологии сварки.

2. Трещины в наплавленном металле - продольные и поперечные в изломе – имеют темный цвет, сильно окисленные или светлые, с цветами побежалости.

Причины образования:

- неправильно выбрана марка электрода или присадочного материала;

- неправильные режимы и технология сварки;

- высокие внутренние напряжения в швах;

- наличие в швах пористости или шлаковых включений.

3. Трещины в кратере – углублении образуются в основном металле в результате «газового дутья» или неправильного выполнения окончания шва.

4. Холодные трещины возникают в шве и в переходной зоне; расположены под любым углом ко шву. Вид излома – светлый, со слабыми цветами побежалости. Возникают при быстром остывании детали в зоне пониженных температур, а также вследствие неправильной техники сварки или неправильно выбранного присадочного материала.

5. Мелкие трещины в шве или переходной зоне возникают вследствие плохого качества присадочной проволоки, обмазки или флюса.

6. Трещины, образующиеся в сварных соединениях при термообработке (закалке) деталей. Возникают из-за несоблюдения режимов термообработки.

Непровар – отсутствие сплавления между основным и наплавленным металлом. Образуется в корне шва или по кромке, а также при многопроходной сварке между слоями.

Поры и раковины – образуются в виде пузырей различной величины, заполнены газами. Появляются вследствие присутствия газов, хорошо растворяемых в металле шва.

Шлаковые включения – небольшие объемы, заполненные неметаллическими веществами (шлаки, окислы), размеры которых могут достигать нескольких миллиметров различной формы.

Свищи - трубчатые полости в металле сварного шва возникшие из-за выделений газа. Форма и положение свища зависят

от режима затвердевания и вида газа. Обычно свищи скапливаются и распределяются «елочкой».

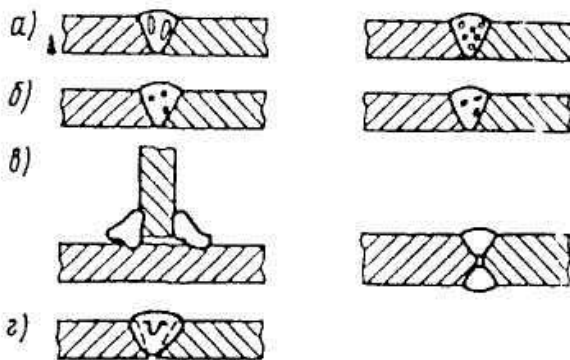


Рисунок 2.8 - Наружные и внутренние дефекты сварного шва:

а — поры (газовые включения), б — шлаковые и металлические включения; в — непровары; г — свищ

2.2.2.4. Дефекты, возникающие при различных видах обработки деталей

Закалочные трещины представляют собой разрывы металла, возникающие вследствие внутренних напряжений при резком охлаждении деталей в процессе закалки.

Наиболее вероятны места зарождения закалочных трещин — это места с резким изменением сечения, острые углы и подрезы. Но трещины могут появляться и на ровных поверхностях, а также и на цилиндрических формах. Характерными признаками закалочных трещин является хаотическое направление и извилистая форма.

Шлифовочные трещины — это группа мелких и тонких разрывов (трещин), как правило, в виде сетки на шлифованной поверхности металла.

Причины образования трещин:

- неправильно выбран режим термообработки детали, в результате возникают значительные внутренние напряжения; воздействие на такую деталь небольших дополнительных напряжений термического и механического происхождения, образовавшихся при шлифовании, приводит к образованию трещин;

- вследствие местного перегрева металла при нарушении режимов шлифования образуется сетка шлифовальных тре-

щин.

Надрывы – неглубокие трещины, возникающие в деталях в результате холодной деформации металла. Возникают при сверлении или развертывании тупым сверлом или разверткой, при накатке резьбы и т.д.

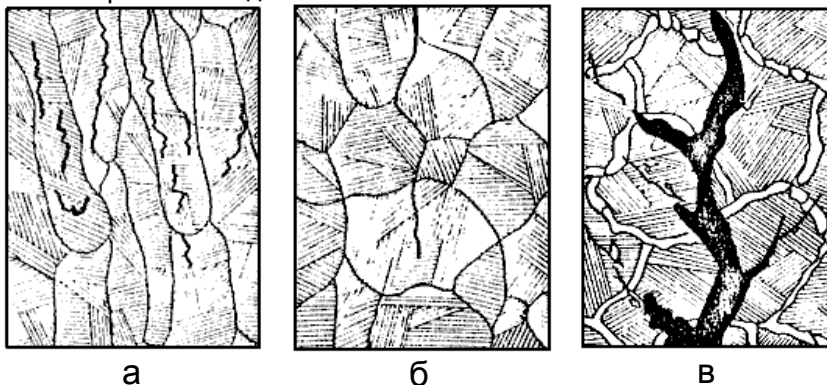


Рисунок 2.9. - Трещины: а - кристаллизационные в металле шва,

б - холодные трещины на участке перегрева, в - обусловленные действием ударных нагрузок

2.2.2.5. Дефекты, возникающие в деталях при эксплуатации

Трещины усталости – являются наиболее распространенными дефектами. Основная причина усталостных разрушений деталей - действие высоких переменных напряжений. Усталостные трещины возникают в местах концентрации напряжений: по галтелям, в местах с резкими переходами сечений и с наличием подрезов у основания резьбы и зубьев шестерен; такие трещины появляются также в местах дефектов металлургического и технологического происхождения.

Трещины усталости различаются по внешнему виду. Чаще всего они бывают двух типов:

- 1) поперечные или кольцевые трещины, образуются на цилиндрических деталях по окружностям в сечении;
- 2) трещины, расположенные под углом к оси детали.

Ширина раскрытия усталостной трещины у выхода ее на поверхности в начальной стадии разрушения не превышает нескольких микрон.

Термические трещины возникают при резких сменах

температуры, а также при недостаточной смазке или при заедании поверхностей трущихся деталей, в результате этого поверхность нагревается до высоких температур. Эти трещины часто наблюдаются на поверхности азотированных, цементированных или поверхностно-закаленных деталей.

Трещины ползучести распространяются по границам зерен, встречаются на деталях из жаропрочных материалов и других сплавов, работающих при высоких температурах. Причины образования – высокие статические напряжения при кратковременном действии нагрузки, перегрев металла, длительное действие низкой статической нагрузки, наклеп на поверхности детали и др.

Трещины термической усталости характерны для деталей из жаропрочных сплавов, по внешнему виду похожи на термические трещины, возникают в результате циклического нагрева и охлаждения.

Трещины-надрывы возникают в поверхностном слое металла, образуются в результате высоких одноразово приложенных напряжений (растяжение, изгиб, кручение), когда нагрузка превышает прочность детали (при нарушении технологии сварки детали, при монтаже или демонтаже деталей с хрупким поверхностным слоем и др.).

Механические напряжения поверхности – забоины, вмятины, задиры, риски, наклеп.

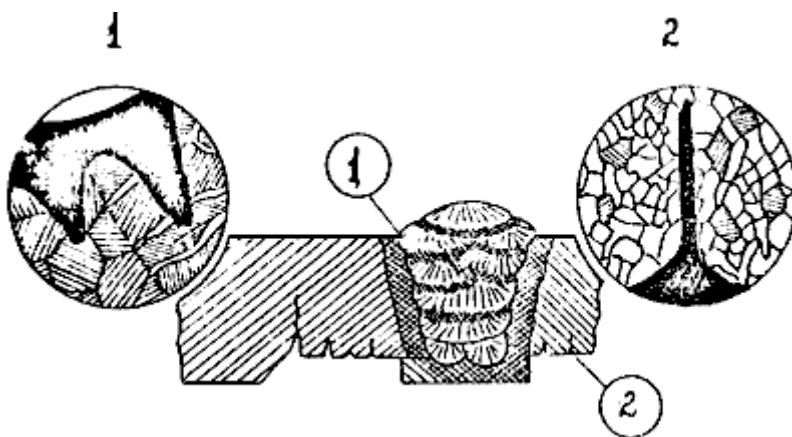


Рисунок 2.10. - Усталостные трещины: 1 - трещины в виде полости; 2 - нитевидная трещина

2.3. ВИДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

В различных отраслях промышленности в настоящее время используются разнообразные виды неразрушающего контроля. Классификация их установлена стандартом и предусматривает следующие виды контроля: магнитный, акустический, капиллярный, оптический, радиационный, радиоволновый, тепловой, электрический, вихретоковый.

Применение этих видов неразрушающего контроля основано на взаимодействии контролируемого изделия с электрическими и акустическими полями, проникающими частицами или веществами.

Рассмотрим основные физические принципы и характеристики перечисленных видов контроля.

Магнитный контроль – в этот вид контроля входит множество магнитных методов неразрушающего контроля, основанных на регистрации магнитных полей, рассеянии дефектов или на определении магнитных свойств контролируемого изделия.

Магнитопорошковый метод – использует специальный ферромагнитный порошок, или ферромагнитную суспензию, которыми равномерно покрывают намагниченное изделие. Мелкие частицы порошка, или суспензии собираются под действием магнитного поля вблизи дефекта и позволяет тем самым обнаружить дефект при визуальном осмотре изделия.

Такой метод, широко применяемый для контроля изделий из ферромагнитных металлов, обладает высокой чувствительностью. С его помощью могут быть обнаружены поверхностные и подповерхностные дефекты, такие, как трещины шириной 1 мкм при длине и глубине до 10 мкм.

Магнитографический метод – заключается в наложении на поверхность намагниченного изделия ферромагнитной пленки, на которой остается магнитный «отпечаток» полей дефекта. Этот отпечаток «считывают» с помощью устройства с магнитными головками и регистратором сигналов.

Феррозондовый метод – обладает высокой чувствительностью, при этом преобразуются магнитные поля дефектов в электрические сигналы с помощью феррозондов – специальных индукторов, содержащих намагничивающие и приемные катушки. С их помощью можно обнаружить поверхностные дефекты глубиной 0,1 мм, а также дефекты, прилегающие близко к поверхности.

Индукционный метод – использует приемную катушку индуктивности, перемещаемую относительно намагниченного объекта контроля. В катушке наводится электродвижущая сила, величина которой связана с характеристиками полей дефектов.

Акустический неразрушающий контроль – использует упругие механические колебания, возбуждаемые в контролируемом изделии. Для возбуждения и регистрации (приема) упругих колебаний используются различного рода электромеханические преобразователи. Наиболее часто для этого применяют пьезоэлектрические, а реже – электромагнитноакустические преобразователи.

С помощью акустического контроля можно контролировать изделия из различных материалов (черных, цветных металлов, пластмасс, резины, жидкостей и др.). Достоинствами этого метода контроля является возможность контроля внутренних дефектов, измерения толщины стенок изделия.

Капиллярный неразрушающий контроль – использует явление проникновения специальных жидкостей в полости поверхностных дефектов. Эти жидкости (индикаторы) наносят на контролируемую поверхность, а после удаления (очистки) они остаются в полости дефектов (в трещинах). Остатки таких жидкостей затем легко можно обнаружить с помощью «проявляющего» состава. Минимальные размеры обнаруживаемых трещин: 1 мкм ширины, 10 мкм глубины и до 100 мкм длины.

Неразрушающий контроль течеисканием – этот вид контроля основан на регистрации утечки специальных жидкостей или газов через сквозные дефекты контролируемого изделия. Такие жидкости или газы называются *индикаторными*. Применяется этот метод при контроле трубопроводов, газовых баллонов, резервуаров и др.

Электрический неразрушающий контроль – регистрация электрического поля контролируемого объекта или определение его электрических характеристик может быть использована для дефектоскопии или определения свойств изделий и из электропроводящих или диэлектрических материалов. Магнитно-порошковому методу аналогичен электростатический порошковый метод. С его помощью могут быть обнаружены поверхностные дефекты в изделиях из диэлектриков (стекло, пластмасса и т.п.). Для этого порошок наносят на поверхность контролируемого объекта. Частицы порошка группируются вблизи дефекта вследствие наличия в его зоне электрического поля рассеяния, что позволяет определить месторасположение и размер дефекта.

Радиационный неразрушающий контроль – используется основной метод – «просвечивание» объектов протекающими излучениями (рентгеновскими, гамма-, бета-, нейтральными и позитронными). Эти излучения, проходя через контролируемую зону

объекта, создают на фотопленке или мониторе изображения, соответствующие по форме несплошностям внутри объекта. Прохождение лучей через объект зависит от структуры и толщины материала. Поэтому этот метод контроля можно использовать для определения структуры и толщины материала.

Оптический неразрушающий контроль – этот метод контроля находит применение для измерения геометрических размеров изделий, контроля состояния поверхности и обнаружения поверхностных дефектов. Применяя этот метод не-вооруженным глазом, можно обнаружить трещины шириной 0,1 мм, а с помощью увеличительной оптики – до 30 мкм.

Тепловой неразрушающий контроль – основан на регистрации тепловых полей (температурных различий отдельных участков) контролируемых объектов. При этом объект может быть нагрет внешним источником либо внутренним. Различные температуры на отдельных его участках определяются формой объекта, материалом участка, а также наличием дефектов. Регистрация тепловых излучений осуществляется обычно приемниками инфракрасных излучений. Благодаря высокой чувствительности таких приемников контроль может осуществляться на значительном расстоянии от объекта.

Радиоволновый неразрушающий контроль – этот вид контроля применяется в основном для контроля диэлектрических и полупроводниковых объектов, а также и для контроля электропроводящих материалов. Сущность радиоволнового контроля состоит в регистрации изменения характеристик электромагнитных колебаний, взаимодействующих с контролируемым изделием. В этом случае используются радиоволны сверхвысокочастотного диапазона. Радиоволны способны проникать в металлы только на очень малую глубину (единицы микрон). Это обстоятельство ограничивает возможность применения для металлоизделий.

Вихретоковый неразрушающий контроль – этот вид контроля применяется только для токопроводящих материалов. Сущность его состоит в оценке распределения вихревых токов в объекте. Для возбуждения вихревых токов в поверхностной зоне объекта используют различного рода накладные преобразователи, состоящие из одной или нескольких катушек индуктивности. Катушки возбуждаются переменным током и создают переменное магнитное поле. При наложении преобразователя на поверхность объекта такое поле проводит в поверхностном слое вихревые токи. Магнитное поле вихревых токов в свою очередь воздействует на катушки преобразователя, изменяя их полное электрическое

сопротивление или наводя в них электродвижущую силу. Изменение напряжений дает таким образом информацию о состоянии приповерхностного слоя контролируемого объекта.

Вихретоковому контролю могут подвергаться изделия из черных и цветных металлов.

2.4. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВЫБОР МЕТОДОВ ДЕФЕКТΟΣКОПИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Как бы ни был совершен тот или иной метод неразрушающего контроля, он не в состоянии решить задачу обнаружения дефектов любого типа или вида. Каждый вид и метод неразрушающего контроля дает возможность оптимально, наилучшим образом обнаружить дефект в каком-либо отдельном случае, причем успех изначально обусловлен выбором метода.

При выборе метода или комплексов методов для дефектоскопического контроля конкретных деталей или узлов необходимо учитывать особенности и технические возможности каждого метода, на которые влияют следующие основные факторы: вид дефекта и его расположение, условия работы детали, состояние и чистота поверхности, форма и размер детали, доступность к зоне контроля и др.

Вид дефекта. Это важный фактор при выборе метода. Наиболее распространенный наружный дефект – трещина. Она может иметь различную протяженность и конфигурацию. В полости трещины могут присутствовать окислы, смазка, нагар и другие загрязнения. По этим и другим факторам выбирают метод неразрушающего контроля. Так, для обнаружения поверхностных трещин с малой шириной раскрытия (0,5-5 мкм) на деталях из ферромагнитных сплавов наиболее эффективным является магнитный, а из немагнитных материалов – токовихревой, или капиллярный метод. Но для выявления внутренних (скрытых) дефектов целесообразно применять радиационный или ультразвуковой методы.

Месторасположение возможных дефектов на детали. Дефекты подразделяют на поверхностные, подповерхностные (залегающие на небольшой глубине до 0,5-1 мм) и внутренние (залегающие на глубине более 1 мм).

Для выявления поверхностных дефектов применимы все методы, но наиболее эффективны – магнитопорошковый и капиллярные. Для обнаружения подповерхностных дефектов эффективны ультразвуковой, а внутренних – только ультразвуковой и

радиационный.

Условия работы детали – это характер внешних нагрузок (статические, динамические, вибрационные), возможные нагрузки, внешняя среда, в которой работает деталь, возможности эрозионно-коррозионного поражения, температурные условия и др.

Так, например, многие ответственные детали испытывают значительные закономерные нагрузки, работают в агрессивной среде, при высоких температурах и в запыленном воздухе. Ряд деталей подвергается эрозионно-коррозионному воздействию.

Учет условий работы деталей позволяет и определить критические места конструкции, и определиться в выборе метода контроля.

Физические свойства материала деталей – это фактор, определяющий в значительной степени выбор метода контроля. Так, для применения ферропорошкового метода контроля материал детали должен быть ферромагнитным и однородным по магнитным свойствам структуры. Для токовихревого контроля материал должен быть электропроводным, однородным по структуре. Для ультразвукового контроля на трещины материал также должен быть однородным, мелкозернистым по структуре, с малым коэффициентом затухания ультразвуковых колебаний. Материал, контролируемый капиллярными методами, должен быть непористым и стойким к воздействию органических растворителей.

Форма и размеры контролируемых деталей – оказывают большое влияние на выбор метода контроля детали. Детали простой формы можно проверять всеми методами, а детали сложной формы – только ограниченным количеством.

Так, например, применение ультразвукового метода возможно не всегда в силу трудности расшифровки результатов контроля и наличия «мертвых» зон – непрозвучиваемых участков, капиллярного – из-за трудности нанесения и удаления с поверхности проникающей жидкости.

Крупногабаритные изделия контролируют, как правило, по частям.

Зоны контроля. Определение зон контроля является важным фактором в выборе метода, так как знание их облегчит разработку методики и обнаружения дефектов. При этом следует учитывать и возможности того или иного метода. Так, методом вихревых токов практически невозможно проверить зоны немагнитного материала непосредственно у неравномерно распределенных ферромагнитных масс. При контроле ультразвуковым методом в зоне контроля не должно быть отверстий, заклепок, бол-

тов и других отражателей ультразвуковой энергии.

Для токовихревого контроля радиусы галтельных переходов должны быть не менее 2 мм, а для капиллярного, магнитопорошкового методов в зоне контроля не должно быть уступов с углом менее 90°, подрезов и наплывов металла. Ширина проточек, радиусы галтелей и отверстий в зоне капиллярного контроля должны быть не менее 3 мм.

Состояние и чистота обработки контролируемой поверхности. Чувствительность методов, особенно магнитопорошковых и капиллярных, зависит от чистоты обработки контролируемой поверхности и наличия на ней защитных покрытий. Для обнаружения трещин при капиллярном контроле необходимо обязательно удалить лакокрасочное покрытие. Токовихревой контроль возможен при наличии неметаллических покрытий толщиной не более 0,5 мм и металлических немагнитных – не более 0,2 мм.

Условия контроля и наличие подходов к проверяемому объекту. Контроль деталей можно проводить без разборки узла (при наличии хороших подходов) или с частичной разборкой (для обеспечения подходов). Иногда для обеспечения контроля в конструкции предусматривают технологические разъемы. Некоторые методы (магнитный, капиллярный, токовихревой, ультразвуковой) могут быть применены для контроля при доступе, с одной стороны. Методы просвечивания рентгеновским излучением требуют доступа с обеих сторон детали.

2.5. РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. В 2-х книгах. Под ред. В. В. Ключева. - М.: Машиностроение, 1986. - 488 с.

2. Алешин Н.П. Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений: учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2006. – 368 с.

3. Методы неразрушающих испытаний. Под ред. Р. Шарпа. - М.: Мир, 1972. – 494 с.

4. Волченко В.Н. Контроль качества сварных конструкций. - М.: Машиностроение, 1986. - 152 с.

5. Неразрушающий контроль материалов и элементов конструкций. Под общ. ред. Гузя А.Н. - Киев: Наук. думка, 1981. - 276 с.

6. Ермолов И.Н., Останин Ю.Я. Методы и средства неразрушающего контроля качества: Учеб. пособие для инженерно-техн.



спец. вузов. - М.: Высш. шк., 1988. - 386 с.