

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

С. В. Воронин, В. Д. Юшин, Г. З. Бунова

**Физические свойства металлов. Конспект лекций.
Часть 2**

Электронное учебное пособие

САМАРА

2011

Авторы: **Воронин Сергей Васильевич,**
Юшин Валентин Дмитриевич,
Бунова Галина Захаровна

Рецензенты:

канд. тех. наук., доц. Л. В. Журавель,
канд. тех. наук., доц. В. Ю. Ненашев

Воронин, С. В. Физические свойства металлов. Конспект лекций. Ч. 2 [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / С. В. Воронин, В. Д. Юшин, Г. З. Бунова; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. дан. (2,9 Мбайт). - Самара, 2011. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

В конспекте лекций рассмотрены следующие основные вопросы: определение абсолютной и относительной ошибки единичного параметра; модель металлов и сплавов; физические методы контроля анализа веществ, к которым относятся рентгеноструктурный анализ, рентгеновский спектральный анализ, рентгеновская дефектоскопия, электронография, электронная микроскопия, методы определения плотности веществ, определение электрических свойств металлов, тепловых свойств веществ, дилатометрия – изменение линейных размеров материала при фазовых превращениях, термоэлектрические эффекты в металлах и сплавах. Определение упругих свойств веществ. Химические методы анализа материалов, из них: коррозия металлов, методы испытания металлов на коррозию. Анализ газов в веществах.

Учебное пособие предназначено для студентов инженерно-технологического факультета по направлению подготовки бакалавров 150400.62 «Металлургия» по профилю «Обработка металлов давлением», 7 семестр и бакалавров по направлению 150700.62 «Машиностроение» по профилю «Машины и технология обработки металлов давлением», 7 семестр в рамках дисциплины «Физические свойства металлов».

Учебное пособие разработано на кафедре технологии металлов и авиационного материаловедения.

©Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

1	Определение абсолютной и относительной ошибок единичного параметра	4
2	Модель металлов и сплавов	6
3	Физические методы контроля анализа веществ	8
3.1	Рентгеноструктурный анализ (метод Дебая, обратная съёмка, дифрактометрия, определение наличия текстуры, определение размеров кристаллитов, определение напряжений I-го и II-го рода).....	8
3.2	Рентгеновский спектральный анализ (химический локальный анализ, качественный и количественный)	14
3.3	Рентгеновская дефектоскопия (обнаружение объёмных дефектов в материале).....	16
3.4	Электронография (определение типа кристаллической решётки и определение параметров кристаллической решётки)	18
3.5	Электронная микроскопия (РЭМ – растровый электронный микроскоп, ПЭМ – просвечивающий электронный микроскоп).....	19
3.6	Методы определения плотности веществ.....	23
3.7	Определение электрических свойств металлов – определение удельного электросопротивления	24
3.8	Тепловые свойства веществ (теплопроводность, теплоёмкость).....	26
3.9	Дилатометрия – изменение линейных размеров материала при фазовых превращениях	28
3.10	Термоэлектрические эффекты в металлах и сплавах.....	30
4	Определение упругих свойств веществ	32
5	Химические методы анализа материалов	34
5.1	Коррозия металлов.....	34
5.2	Факторы, влияющие на протекание коррозии	35
5.3	Методы испытания металлов на коррозию	35
6	Анализ газов в веществах (в жидких и твёрдых металлах)	38

1 Определение абсолютной и относительной ошибок единичного параметра

Любой параметр, определяющийся экспериментально, чаще всего описывается некоторыми величинами. Плотность вещества $\gamma = P/V$, где P – масса, V – объём. В некоторых случаях величина определяется непосредственно, например, объём тела может определяться путём погружения его в жидкость, но может случиться так, что определяемая величина сама описывается некоторым количеством измеряемых величин. Если имеется тело в форме параллелепипеда, то объём этого тела $V = a \cdot b \cdot c$. Но во втором случае в отличие от первого мы совершаем ошибку 3 раза (a, b, c) а в первом – одну (V), а нам нужно знать суммарную ошибку при определении величины V .

Различают 2 типа ошибок:

1. Абсолютная
2. Относительная

Абсолютная ошибка – это точность определяемой величины (Δa). Она зависит от точности применяемой аппаратуры или прибора.

Относительная ошибка – это отношение абсолютной ошибки Δa к самой измеряемой величине a .

$$\frac{\Delta a}{a} \cdot 100\%$$

Относительная ошибка в отличие от абсолютной зависит от измеряемой величины.

При нахождении абсолютной и относительной ошибок можно столкнуться с двумя различными случаями:

1. Измеряемый параметр γ описывается аналитическим выражением P/V .
2. Определяемый параметр не может быть описан аналитическим выражением.

Во втором случае экспериментально находится несколько значений в зависимости от параметра измеряемой величины и эти экспериментальные значения аппроксимируются каким-либо эмпирическим уравнением, и этот случай тогда сводится к первому.

1. Выражаем параметр γ через все измеренные экспериментально величины

$$\gamma = \frac{P}{a \cdot b \cdot c}$$

2. Логарифмируем полученное выражение

$$\ln \gamma = \ln P + \ln a + \ln b + \ln c$$

3. Дифференцируем выражение

$$d \ln \gamma = d \ln P + d \ln a + d \ln b + d \ln c$$

4. Записываем результат

$$\frac{d\gamma}{\gamma} = \frac{dP}{P} + \frac{da}{a} + \frac{db}{b} + \frac{dc}{c}$$

$$d\gamma \approx \Delta\gamma$$

$$\frac{\Delta\gamma}{\gamma} = \left(\frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c} \right) = Z$$

$$\Delta\gamma = Z * \gamma$$

2 Модель металлов и сплавов

Любой металл или сплав представляет собой пространственную кристаллическую решётку, в узлах которой находятся положительно заряженные ионы, и эта решётка погружена в газ из свободных электронов (электроны свободно перемещаются по всему объёму металла или сплава). Связь между положительно заряженными ионами осуществляется за счёт протекания потока свободных электронов между положительно заряженными ионами. При абсолютном нуле перемещения свободных электронов продолжают, а положительно заряженные ионы осуществляют, так называемые нулевые колебания. При повышении температуры относительно абсолютного нуля амплитуда увеличивается и энергия некоторых ионов достигает величины превосходящей силы связи между ионами в решётке. Эти ионы покидают свои места и начинают блуждать по всему объёму материала, а покинутое место представляет собой пустоту (вакансию). При температуре плавления количество вакансий составляет примерно 1% всех ионов, находящихся в объёме материала. При таком представлении модели металла вводится понятие элементарной ячейки кристаллической решётки и кристаллографических плоскостей кристаллической решётки.

Элементарная ячейка – минимальное количество атомов определённой объёмной конфигурации, трансляцией которых в трёх взаимно перпендикулярных направлениях можно получить всю пространственную кристаллическую решётку.

Элементарные ячейки кристаллической решётки характеризуются в основном двумя величинами:

1. Параметром кристаллической решётки;
 2. Количеством атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку.
- Для ОЦК и ГЦК решёток параметром ячейки является ребро куба (a).
Для ГПУ решётки 2 параметра:
1. Ребро шестигранника (a);
 2. Высота шестигранной призмы (c).

Количество атомов: для [ОЦК](#) – 2 атома, для [ГЦК](#) – 4 атома, для [ГПУ](#) – 6 атомов (рис. 1).

Кристаллографические плоскости кристаллической решётки – это воображаемые плоскости, которые находятся под определённым углом наклона к осям прямоугольных координат и соединяющие определённые группы атомов кристаллической решётки. Для разделения различных кристаллографических плоскостей вводятся определённые обозначения (индексы Миллера).

Отражение электромагнитных волн высокой частоты (рентгеновские лучи) происходит не от геометрических плоскостей металла, а от кристаллографических плоскостей.

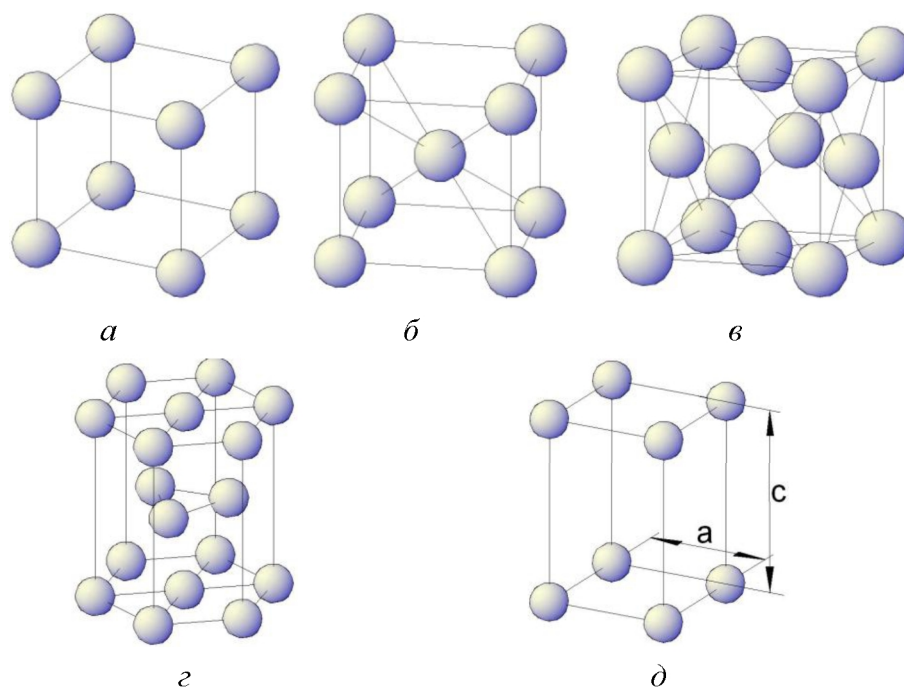


Рис. 1. Типы элементарных кристаллических ячеек:
 a – простая кубическая; b – объемноцентрированная кубическая; v – гранецентрированная кубическая; z – гексагональная плотноупакованная; d – тетрагональная

В основном все металлы и сплавы являются поликристаллами, то есть состоящими из большого числа кристаллитов – монокристаллов, выросших из одного центра. Практически в объеме кристаллита имеется идеальная кристаллическая решетка. Все кристаллиты в объеме в общем случае ориентированы хаотически в пространстве. Если имеется предпочтительная ориентация кристаллографических плоскостей, то говорят, что имеется кристаллографическая текстура в металле и сплаве. При отсутствии кристаллографической текстуры, а также металлографической текстуры материал считается изотропным и его свойства не зависят от направления в объеме материала. При наличии металлографической и кристаллографической текстур материал считается анизотропным и его свойства зависят от направления в объеме материала. Отдельно взятый кристаллит является анизотропным.

Под *металлографической текстурой* (видимой в микроскоп) понимается преимущественная ориентация малых или больших осей кристаллитов.

Не обязательно наличие кристаллографической текстуры сопровождается наличием металлографической текстуры.

3 Физические методы контроля анализа веществ

3.1 Рентгеноструктурный анализ (метод Дебая, обратная съёмка, дифрактометрия, определение наличия текстуры, определение размеров кристаллитов, определение напряжений I-го и II-го рода)

Определение природы вещества рентгеноструктурным методом (определение типа кристаллической решётки параметров кристаллической решётки).

При рентгеноструктурном анализе определяются свойства материала путём освещения объёма исследуемого материала рентгеновскими лучами и расшифровка последней партии отражённых рентгеновских лучей.

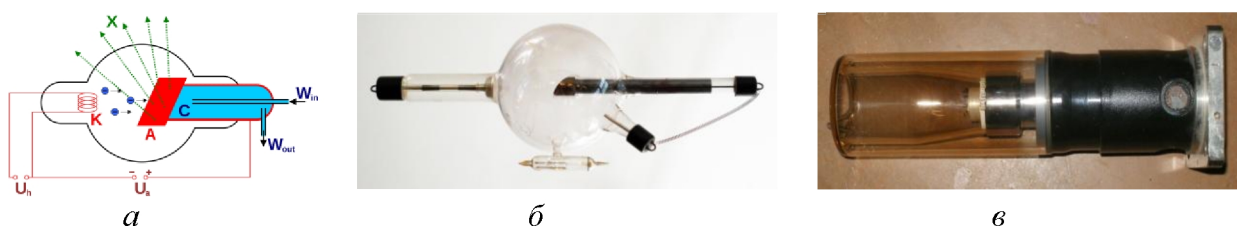


Рис. 2. Рентгеновская трубка:

a – схематическое изображение; *б* – ранняя модификация [1]; *в* – современная модификация [2]

Рентгеновская трубка состоит из:

1. Вольфрамовой спирали, покрытой торием, по которой пропускается ток с целью получения облака электронов.
2. Направляющего электрода, который осуществляет формирование узкого пучка электронов.
3. Стеклоанного баллона, внутри которого вакуум ($10^{-5} \div 10^{-6}$ мм. рт. ст.).
4. Анода – электрода, на который подаётся высокое напряжение ($10 \div 20$ кВ).

В месте взаимодействия пучка электронов с катодом образуются рентгеновские лучи, при этом образуются от каждой кристаллографической плоскости кристаллической решётки лучи двух длин волн ($K_{\alpha_1}, K_{\beta_1}$ причём $\lambda_{\beta_1} < \lambda_{\alpha_1}$). Отражение рентгеновских лучей от кристаллографических плоскостей подчиняется закону [Вульфа-Брэгга](#):

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta ,$$

где n – ряд целых чисел (1,2,3), λ – длина волны рентгеновского излучения, которым освещается излучаемый металл, d – межплоскостное расстояние для определения системы h,k,l , $\sin \theta$ – угол падения и угол

отражения рентгеновских лучей от данной кристаллографической плоскости. В нашем случае величина $n = 1$. (h,k,l) – индексы Миллера (рис. 3).

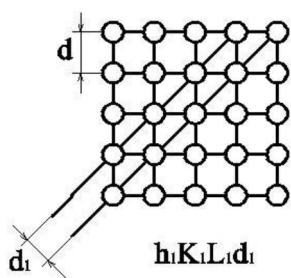


Рис. 3. Схема расположения атомных плоскостей

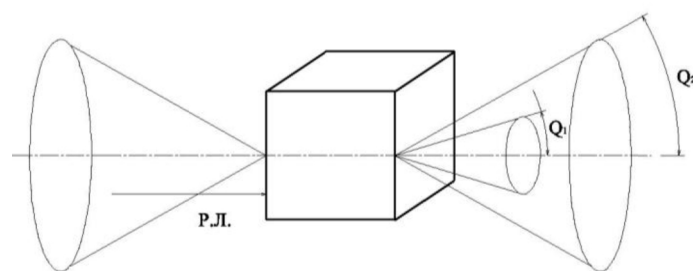


Рис. 4. Схема образования дифракционных линий

Лента рентгеновской плёнки, на которой имеются лучи взаимодействия отражательных рентгеновских конусов, представленных на рисунке 5, от различных кристаллографических плоскостей, называется рентгенограммой или дебаеграммой. Эта лента самописца будет называться *дифрактограммой*. На рисунке 5 представлена дифрактограмма образца из сплава АД1М, отожжённого при температуре 450 °С в течение 30 мин. Представленная дифрактограмма получена на рентгеновском дифрактометре ДРОН-7 со следующими параметрами съемки:

Интервал 20÷100°; метод 2 θ – θ ; экспозиция = 2 с; шаг = 0,020°; излучение = Cu (29); β -фильтр = Ni (28); щели трубки: горизонтальная = 8 мм; Соллера = 1,5°; вертикальная = 0,5 мм; щели детектора: Соллера = 1,5°; вертикальная = 0,25 мм; горизонтальная, регулируемая = 10 мм; напряжение = 40 кВ; сила тока = 20 мА; без вращения образца.

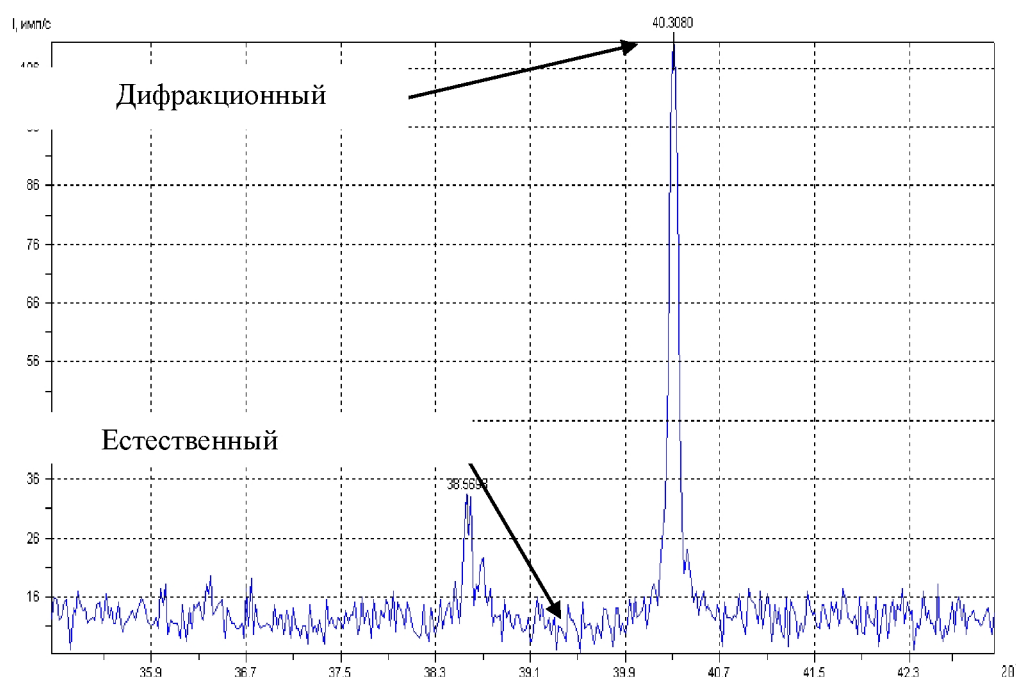


Рис. 5. Дифрактограмма образца сплава АД1М, отожженный при 450 °С в течение 30 мин

Дифрактограмма записывает половину рентгенограммы. Угол отражения на рентгенограмме определяют с помощью линейки или штангенциркуля. Каждой линии рентгенограммы соответствует пик интенсивности на дифрактограмме, 2 вершины называющийся расщеплением дублета. На каждой рентгенограмме и на каждой дифрактограмме будет указан символ химического элемента периодической таблицы Д.И. Менделеева. Это делается для того, чтобы знать какой длиной волны рентгеновского излучения облучается исследуемый нами материал.

N п/п	Интенсивность	$2\theta_{изм}$	$\Delta = \rho^* (1 + \cos 2\theta)$	$L_T = L - (\Delta/2)$	$L_T = \theta_T$	θ_T	$\sin \theta_T$	α или β	d/n		$\sin^2 \theta_T$	$\frac{\sin^2 \theta_i}{\sin^2 \theta_j}$	H, K, L	$H^2 + K^2 + L^2$	
									в. эксп.	спра					
									0	1	2	3	4	5	6

На дебаграмме интенсивность линий определяется визуально: по пятибалльной шкале (рис. 6). Линии подразделяются на очень сильные, сильные, средние, слабые, очень слабые.



Рис. 6. Дебаграмма Fe_{α}, Co излучение

На дифрактограмме интенсивность определяется тоже по пятибалльной шкале. Максимальная интенсивность у той линии, у которой самый максимальный пик.

В связи с тем, что освещаемый образец обладает определёнными геометрическими размерами, это сказывается на точности измерения угла отражения Δ , который рассчитывается по формуле:

$$\Delta = \rho^* 1 + \cos 2\theta$$

Расчет Δ производится аналитически или из таблицы

$$L_T = L - \left(\frac{\Delta}{2} \right), \quad L_T = \theta_T.$$

Линии β не могут быть сильными и очень сильными, но это не означает, что слабые линии не могут быть α линиями. Это говорит только о том, что интенсивны β линии всегда слабее α линий.

Существует соотношение, позволяющее определить пару α и β линий для каждой кристаллографической плоскости:

$$\sin \theta_\beta = 0.9 \sin \theta_\alpha$$

Используем уравнение $H\lambda = 2 * d * \sin \theta$.

Проводим сравнение полученного экспериментального ряда отношений d/n со справочными материалами для различных элементов таблицы Д.И. Менделеева. Различия в значениях соответствующих членов рядов, полученных экспериментально и табличных, не должно превышать 0,03.

Если целое число $\sin^2 \theta$, то ОЦК, иначе – ГЦК.

$$a = d * \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

Поэтому при расчёте дифрактограммы заполнять таблицу нужно следующим образом:

1. Номер линии;
2. Интенсивность рентгеновских лучей по пятибалльной шкале (20% – очень слабая, 40% – слабая, 60% – средняя, 80% – сильная, 100% – очень сильная)
3. Переходить к определению θ_T .

Обратная съёмка рентгенограмм и определение величины зерна в исследуемом металле или сплаве. Наличие кристаллографической текстуры и определение напряжений I и II рода

Текстуры металлов и сплавов бывают двух видов:

1. Металлографическая или визуальная;
2. Кристаллографическая

Металлографическая текстура – это предпочтительная ориентация больших или малых осей кристаллитов в пространстве. Если металл состоит из равноосных кристаллов, то металлографическая текстура отсутствует.

Кристаллографическая текстура – это предпочтительная ориентация каких-либо плоскостей (h,k,l) в пространстве.

Напряжения I-рода – это такие внутренние напряжения, которые уравниваются по всему объёму тела.

Напряжения II-рода – это такие напряжения, которые уравниваются в группе зёрен.

При рассмотрении одной линии рентгенограммы возможно увидеть не только тёмные поля, но и участки посветлее – это называется рефлексом рентгенограммы.

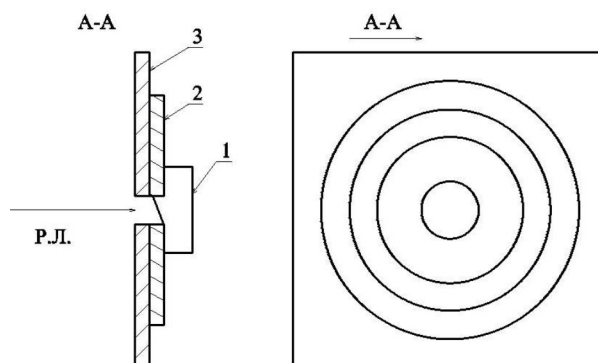


Рис. 7. Схема обратной съемки рентгенограммы:

1 – исследуемый образец; 2 – металлическая кассета, в которую вставляется фотоматериал; 3 – фотоматериал (плёнка или фотобумага)

В плёнке 3 и кассете 2 имеется отверстие для прохода рентгеновских лучей. Рентгеновские лучи попадают на образец 1 и отражаются на фотоматериале 3 (рис. 7).

Обратная рентгеновская съёмка позволяет определить величину зерен, наличие или отсутствие напряжений I или II рода, а также наличие кристаллографической текстуры.

Если линия пересечения рентгеновских лучей с плёнкой прерывистая, то это говорит о присутствии кристаллографической текстуры в материале.

Если на рентгенограмме обратной съёмки на линиях имеются рефлекс, то площадь рефлексов на единицу длины этой линии позволяет вычислить размеры зерна. Для этого первоначально строят тарировочный график, который показывает зависимость размера зерна d и площадь рефлексов на единицу длины линии (рис. 8).

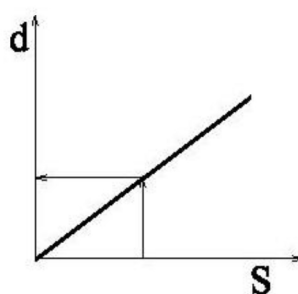


Рис. 8. Тонировочный график зависимости размера зерна от площади рефлексов

Наличие текстуры и размера зерна можно определить только с помощью рентгенограммы обратной съёмки. Напряжения II-рода определяются и по рентгенограммам Дебая, и по дифрактограммам.

Если на дифрактограмме имеются линии с одной вершиной, то это говорит о присутствии напряжений II-рода. Если линия имеет две вершины и ширина ее достаточно узкая, то это говорит об отсутствии напряжений II-рода (рис. 9).

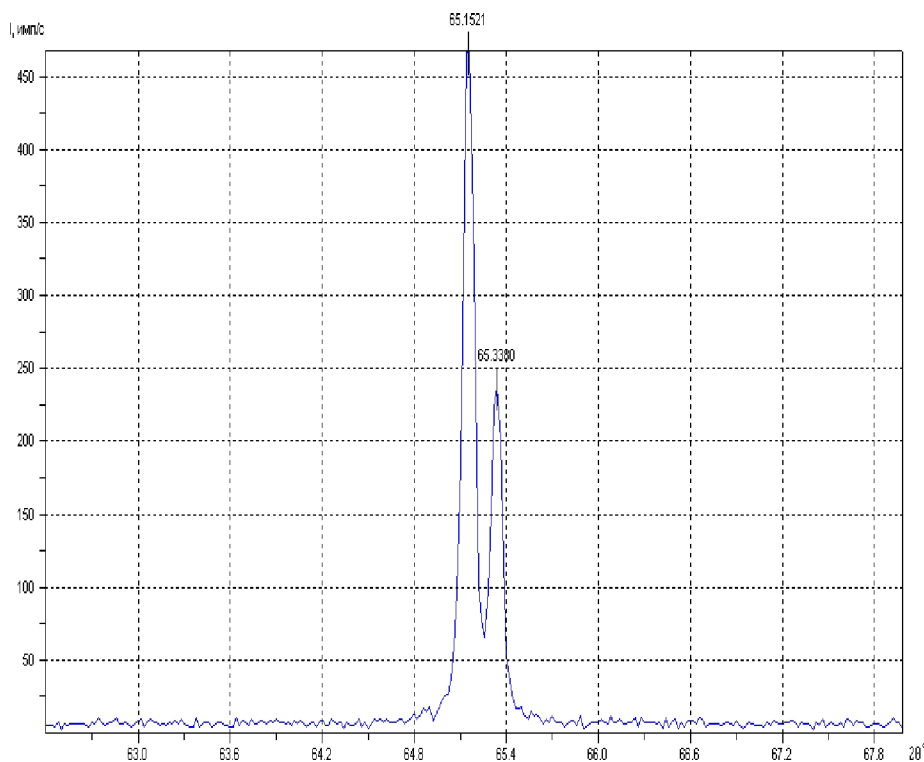


Рис. 9. Участок дифрактограммы образца сплава АД1М со сдвоенным пиком

Если линии на рентгенограммах по всей окружности имеют одинаковую степень почернения по ширине, то это говорит о наличии напряжений II-рода. Если степень почернения по ширине линии не одинаковы, то это говорит об отсутствии напряжений II-рода.

Напряжения I-рода с помощью рентгеновских лучей определяются в поверхностном тонком слое (80÷100 мкм). Глубина исследуемого слоя зависит от поглощающей способности материала. Из сопромата известно, что:

$$\varepsilon = -\frac{\mu}{E} \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 ,$$

где ε – относительная упругая деформация; μ – коэффициент Пуассона; E – модуль упругости 1-го рода; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные нормальные напряжения.

В связи с этим σ_3 , перпендикулярная поверхности образца, принимается равной нулю. С другой стороны относительная деформация равна

$$\varepsilon = \frac{\Delta d}{d} ,$$

где d – межплоскостное расстояние, а Δd – изменение межплоскостного расстояния (h,k,l), которое возникает при приложении внешней нагрузки.

3.2 Рентгеновский спектральный анализ (химический локальный анализ, качественный и количественный)

Рентгеновская спектроскопия

Спектроскопия – это наука, изучающая зависимость интенсивного электромагнитного излучения от длины волны (рис. 10).

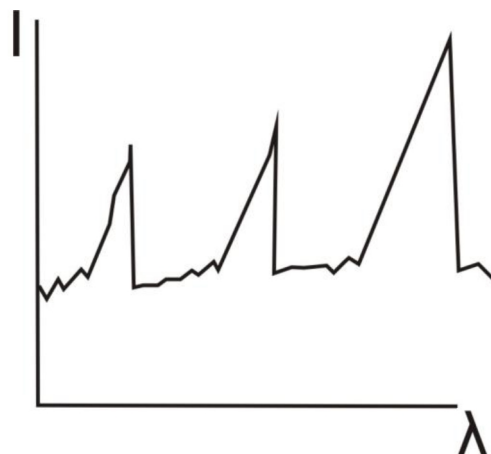


Рис.10. График зависимости интенсивности рентгеновских лучей
 I – интенсивность рентгеновских лучей; λ – длина волны

Рентгеновские лучи дают сплошной спектр (имеется набор всех длин волн) и характеристический спектр излучения (рис. 11).

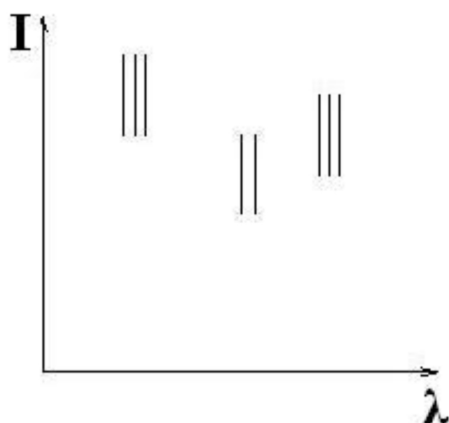


Рис. 11. Вид
характеристического спектра

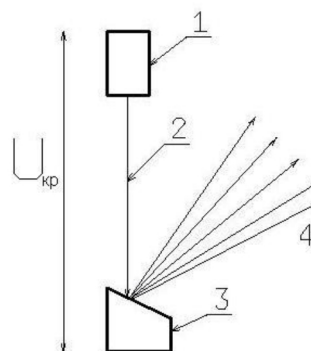


Рис. 12. Схема воздействия
рентгеновских лучей на образец

Если с помощью электронной пушки 1 на образец 3 направить пучок электронов 2, то материал начнёт излучать рентгеновские лучи (рис. 12). При этом, если разность электрического потенциала электронной пушки 1 и образца 3 меньше $U_{кр}$, то будет образован сплошной рентгеновский спектр. В характеристическом спектре будут определяться серии, то есть набор определённых длин волн определённой интенсивности. Каждый химический элемент периодической таблицы Д.И. Менделеева имеет свой присущий только ему характеристический спектр. А это значит, что, если мы можем

определить длины волн рентгеновских лучей и их интенсивность, то мы можем проводить рентгено-химический анализ веществ. Анализ проводится как качественный, так и количественный.

Качественный анализ основан только на определении элемента (S, Fe и Mn). Для этого сравниваются интенсивности рентгеновских лучей от исследуемого сплава и от химически чистого элемента, содержание которого мы можем определить в нашем сплаве.

Количественный анализ определяет процентное содержание веществ A, B, C (30% S, 20% Fe, 50% Mn).

$$C_i = \frac{I_i}{I_{\text{эталона}}} * 100\%,$$

где I_i – интенсивность, $I_{\text{эталона}}$ – чистый металл, C_i – концентрация.

Первоначально при проведении химического анализа проводится качественный химический анализ. При этом выясняется необходимое использование определённых элементов эталона. После этого производится количественный химический анализ.

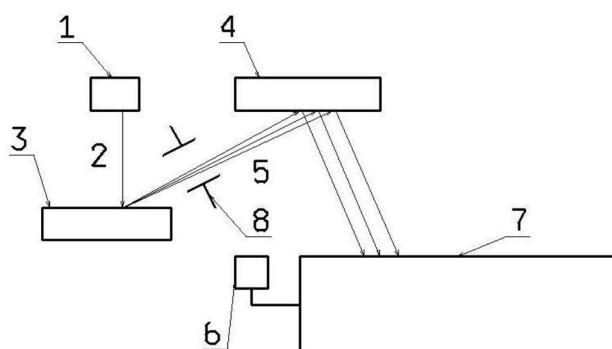


Рис. 13. Схема рентгеновского спектрометра

1. Электронная пушка;
2. Пучок электронов;
3. Исследуемый образец (A, B, C);
4. Кристаллический анализатор. Он характеризуется тем, что у него одно из семейств кристаллографических плоскостей расположено параллельно внешней поверхности (например, слюда) и известно межплоскостное расстояние d для этих плоскостей;
5. Рентгеновские отражённые лучи;
6. Датчик рентгеновских лучей, который может измерять углы отражённых рентгеновских лучей и их интенсивность;
7. Лента самописца, на которой фиксируются интенсивность рентгеновских лучей в зависимости от длины волны;
8. Диафрагма для формирования параллельного пучка рентгеновских лучей.

Спектрометр работает следующим образом (рис. 13): пучок электронов взаимодействует с поверхностью исследуемого образца, при этом

возбуждаются характеристические рентгеновские лучи от каждого химического элемента, входящего в состав исследуемого образца. Эти рентгеновские лучи проходят через диафрагму 8, формируя параллельный пучок рентгеновских лучей, который направлен на поверхность кристаллического анализатора 4, в связи с тем, что длины волн различны, то в соответствии с уравнением Вульфа-Брэгга $h \cdot \nu = 2 \cdot d \cdot \sin \theta$ рентгеновские лучи будут отражаться под разными углами. Измеряя на ленте самописца длины волн и углы отражения можно определить качественный и химический анализ исследуемого материала.

3.3 Рентгеновская дефектоскопия (обнаружение объёмных дефектов в материале)

Рентгеновская дефектоскопия – это обнаружение в объёме исследуемого материала наличия пор, трещин, неметаллических включений интерметаллидов. Обнаружение этих дефектов объясняется различным поглощением рентгеновских лучей различными структурными и фазовыми составляющими сплава.

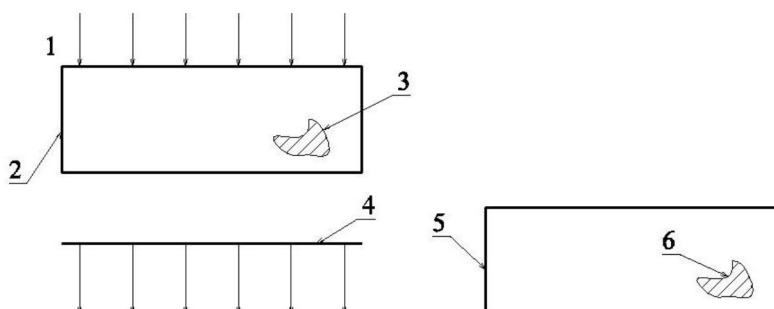


Рис. 14. Схема изменения интенсивности проходящих рентгеновских лучей при наличии дефекта в материале

$$I = I_0 * e^{-\mu * d},$$

где I_0 – интенсивность направленных рентгеновских лучей; d – толщина пластин, а μ – коэффициент ослабления.

Обычно, чем больше порядковый номер элемента в периодической таблице Д.И. Менделеева, тем больше величина μ , т.е. поглощающая способность этого элемента или кого-либо соединения, в которое входит данный элемент. Газ практически не поглощает рентгеновские лучи, поэтому после выхода рентгеновских лучей, интенсивность их будет больше. Это позволит получить контрастную картину расположения дефектов в объёме исследуемого материала (рис. 14). В зависимости от того, каким способом образуется контрастная картина, рентгеновская дефектоскопия делится на 3 вида:

1. *Визуальный способ.* В этом случае за просвечиваемым материалом размещают флюоресцирующий экран, который и фиксирует распорядок интенсивности выходящих рентгеновских лучей.

2. *Фотографический способ.* В этом случае за просвечивающим материалом располагается или фотоплёнка или фотобумага. После проявления на ней появляется картина распределения интенсивности выхода рентгеновских лучей.
3. *Ионизационный способ.* В этом случае за просвечивающим материалом располагают ионизационный датчик, который вырабатывает электрический сигнал, пропорциональный интенсивности рентгеновских лучей. Этот датчик сканирует определённую площадь выходящих рентгеновских лучей и фиксирует их интенсивность.

Рентгеновская дефектоскопия кроме обнаружения дефектов в материале позволяет определить координаты залегания этих дефектов. Если исследуемый материал имеет примерно равные размеры в трёх взаимно перпендикулярных направлениях, то для обнаружения дефектов достаточно просветить этот материал в двух взаимно перпендикулярных направлениях (рис. 15).

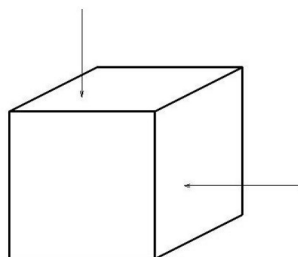


Рис. 15. Схема просвечивания исследуемого материала в двух взаимно перпендикулярных направлениях

Если материал имеет форму пластины, то для обнаружения координат залегания дефектов приходится проводить более сложную операцию просвечивания (рис. 16).

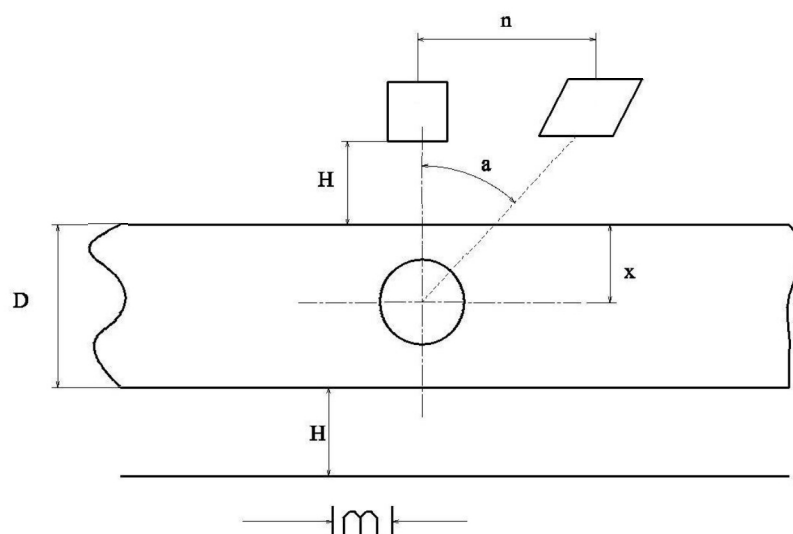


Рис. 16. Схема съемки для обнаружения дефектов в плите

3.4 Электронография (определение типа кристаллической решётки и определение параметров кристаллической решётки)

Электронография – это метод определения природы материала путём воздействия на него пучка электронов. Из физики известно, что электроны обладают, как свойствами частиц, так и волновыми свойствами:

$$E = \frac{mV^2}{2} = h\nu = \frac{ch}{\lambda},$$

где ν – скорость движения; m – масса; E – энергия электронов; ν – частота излучения; h – постоянная Планка; λ – длина волны; c – скорость света. При напряжении между электронной пушкой и образцом >50 кВ длина волны равна $0,04 \div 0,07 \text{ \AA}$.

В связи с малой длиной волны пучка электронов углы, отражения от поверхности материала очень малы и составляют $5-7^\circ$, поэтому с помощью пучка можно исследовать только тонкие поверхностные слои материала.

Для исследования, электронный пучок под углом $5-7^\circ$ направленный на поверхность исследуемого материала, отражаясь, электроны попадают на фотоматериал. Пучок электронов, так же как и рентгеновские лучи, подчиняется закону отражения Вульфа-Брэгга: $n * \lambda = 2 * d * \sin \theta$. При такой схеме проведения анализа на фотоматериале 4 образуются следы взаимодействия отражённых электронов с фотоматериалом (рис. 17).

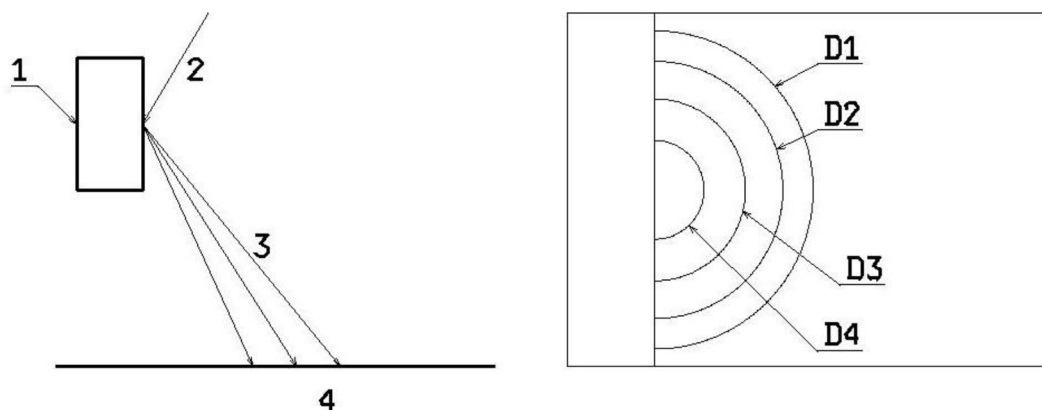


Рис. 17. Схема получения электронограммы

Измеряя диаметры на фотоматериале можно получить набор значений $\frac{d}{n}$, так же как и в рентгенограмме. Следовательно, по тем же справочникам, зная значения рядов величины $\frac{d}{n}$, можно определить тип и параметр кристаллической решётки, то есть определить природу вещества. Фотоматериалы со следами взаимодействия конусов электронов с фотобумагой называются *электронограммами*.

3.5 Электронная микроскопия (РЭМ – растровый электронный микроскоп, ПЭМ – просвечивающий электронный микроскоп)

Электронные микроскопы делят на 2 вида:

1. РЭМ – растровый электронный микроскоп (рис. 18);
2. ПЭМ – просвечивающий электронный микроскоп (рис. 19).

С помощью РЭМах исследуются массивные образцы (чаще всего применяются образцы объемом 1см^3). На ПЭМах исследуются тонкие плёнки, фольги или оттиски поверхности материалов на пластмассах.

На РЭМах увеличение $200 \div 400$ тысяч раз.

На ПЭМах увеличение до 5 млн. раз.

Растровый электронный микроскоп

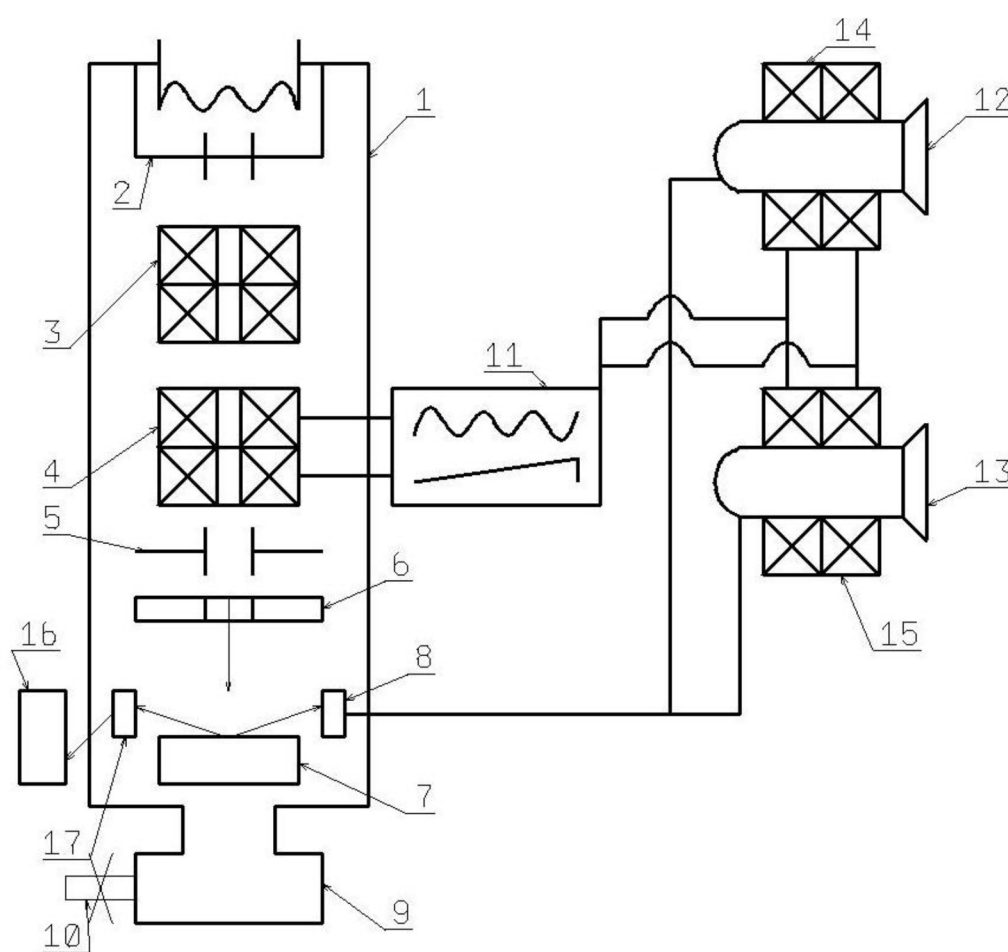


Рис. 18. Схема устройства РЭМ

1. Металлический цилиндр (колонна). Внутри колонны во время работы создается вакуум $10^{-6} \div 10^{-7}$ мм.рт.ст. для того, чтобы поток электронов не рассеивался при взаимодействии с атомами воздушной атмосферы.
2. Электронная пушка для генерации потока электронов.

3. Электромагнитные конденсорные линзы. Служат для регулирования диаметра потока электронов (электронного луча).
4. Электромагнитные линзы, которые служат для перемещения потока электронов по поверхности исследуемого образца в двух взаимно перпендикулярных направлениях.
5. Механическая диафрагма. Служит для отсекаания отклонённых от оси потока электронов.
6. Датчик отражённых электронов.
7. Исследуемый образец.
8. Датчик вторичных электронов.
9. Вакуумная система РЭМа.
10. Клапан для соединения колонны микроскопа с внешней атмосферой.
11. Генератор питания электромагнитных катушек 4.
- 12, 13. Электронно-лучевые трубки, предназначенные для наблюдения и фотографирования структуры исследуемого образца.
- 14, 15. Электромагнитные катушки для получения раstra на электромагнитных трубках.
16. Рентгеновский спектрометр – это устройство, позволяющее фиксировать интенсивность рентгеновских лучей и углы отражения от кристаллографических плоскостей.
17. Кристаллический анализатор.

Отражённые электроны – это электроны пучка, падающего на поверхность образца, которые отразились в результате упругого столкновения с атомами материала образца или со свободным электроном электронного газа.

Вторичные электроны – это электроны, первоначально принадлежащие исследуемому образцу, но выбитые при столкновении с электронами оболочек атомов материала образца.

Энергия отражения электронов равна энергии электронов падающего пучка от 0 до 100 кэВ. Энергия вторичных электронов не может быть более 50эВ – это энергия связей электронов в атомах металлов и сплавов. Рассмотрим формирование изображения в РЭМ с помощью вторичных электронов.

Количество выбитых вторичных электронов зависит от химического состава сплава, то есть имеется в виду порядковый номер элемента. Так же зависит от угла между падающим пучком электронов на поверхность исследуемого образца и самой отражающей поверхности. Чем меньше угол между падающим пучком и отражающей поверхностью, тем больше образуется вторичных электронов.

Чем больше порядковый номер элемента, входящего в состав сплава, тем больше электронов находится на орбитах атомов этого элемента, и тем больше вероятность образования вторичных электронов. Количество вторичных электронов зависит и от плотности исследуемого материала. Под плотностью исследуемого материала понимается плотность упаковки отражающих кристаллографических плоскостей.

Просвечивающий электронный микроскоп

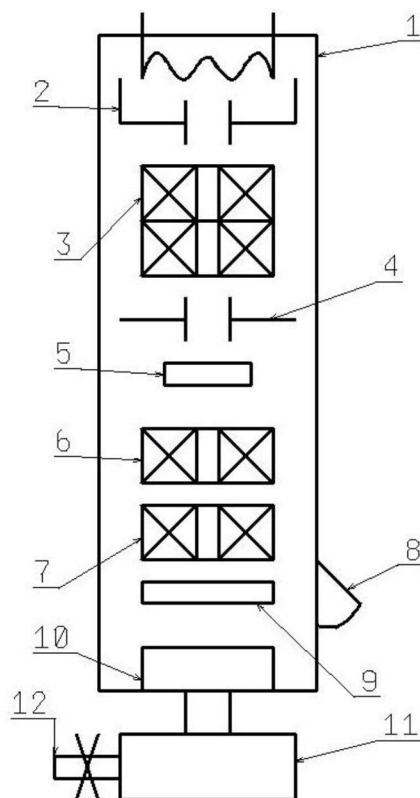


Рис. 19. Схема устройства ПЭМ

1. Колонна микроскопа.
2. Электронная пушка.
3. Конденсорные электромагнитные линзы.
4. Механическая диафрагма.
5. Исследуемый образец (в виде фольги или реплики – отпечаток образца).
6. Электромагнитная увеличивающая линза.
7. Электромагнитная проекционная линза – проектирует изображение на флюоресцирующий экран 9.
8. Кварцевое окно для наблюдения за изображением структуры.
9. Флюоресцирующий экран.
10. Пластины фотоматериала для фиксации изображения структуры.
11. Вакуумная система.
12. Клапан.

Фольга для исследования готовится следующим образом: вначале с помощью металлорежущих станков готовятся пластины толщиной в несколько десятых миллиметра. При этом необходимо соблюдать тепловые режимы обработки, чтобы не было разогревания образца, способного изменить структуру состояния.

С помощью технологии электрофрезерования толщина образца доводится до нескольких микрон, а последующей электропанировкой образец доводится до толщины приблизительно равной сотые доли микрона. Необходимо, чтобы толщина исследуемого образца была меньше величины свободного пробега электронов в данном материале при ускоряющих напряжениях 50÷100 кВ. Иногда вместо фольги используется так называемые *реплики* – это тонкие напыленные слои материалов (графит или металл) на исследуемую поверхность или оттиски исследуемой поверхности на пленочных полимерных материалах.

При исследовании микроструктуры с помощью ПЭМа изображение на флюоресцентном экране или фотоматериале может формироваться двумя путями:

При исследовании аморфных тел контрастная картина образуется из-за различного поглощения рентгеновских лучей образцом, имеющим различную толщину (рис. 20).

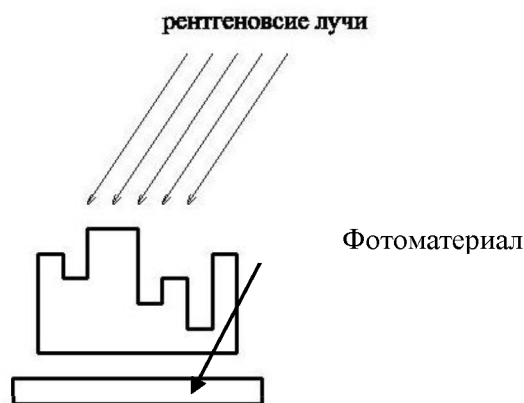


Рис. 20. Схема просвечивания аморфных реплик

При исследовании кристаллических тел при образовании контрастной картины на фотоматериале начинают проявляться волновые свойства электронов (рис. 21).

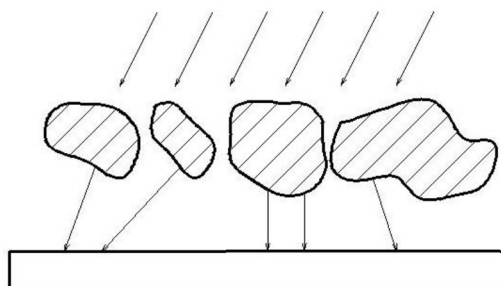


Рис. 21. Схема просвечивания кристаллических пленок

Кристаллографические плоскости могут располагаться таким образом, что электроны могут образовываться по закону Вульфа-Брэгга: $n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta$. Вследствие этого получают неравномерную интенсивность рентгеновских лучей на выходе из материала.

3.6 Методы определения плотности веществ

Плотность является структурно-чувствительным свойством и поэтому структурные изменения этой величины часто используются в материаловедении для контроля того или иного свойства металла. При протекании фазовых превращений в металлах и сплавах вновь образовавшиеся фазы, как правило, имеют удельный объём, отличающийся от первоначальных фаз. При этом изменяются и общие свойства металла или сплава. Поэтому, измеряя плотность, можно установить возможность протекания фазовых превращений. Плотность может измеряться следующими способами:

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

1. *Для тел правильной геометрической формы.* С помощью измерительных приборов определяется объём тела, а путём взвешивания определяется его масса. Этот метод грубый и даёт более или менее подходящую точность при больших габаритах тела.
2. *Пикнометрический метод.* Этим методом можно определить плотность тел, как с правильной геометрией, так и имеющих сложную геометрическую форму. Масса определяется взвешиванием тела, а определение объёма тела производится путём погружения в мензурку с мерными делениями с рабочей жидкостью. В этом случае для определения уровня жидкости в мерном сосуде используются оптические приборы. К рабочей жидкости предъявляются следующие требования: она не должна химически взаимодействовать с исследуемым телом, а также она должна хорошо смачивать тело.
3. *Гидростатическое взвешивание.* При этом способе производится взвешивание исследуемого образца 2 раза. Первый раз производится на воздухе и второй раз при погружении в жидкость. К рабочей жидкости применяются такие же требования, как и при пикнометрическом методе определения плотности. Также должна быть известна плотность рабочей жидкости.

$$\rho = \frac{m_{\text{в}} * \rho_{\text{р.ж.}}}{m_{\text{в}} - m_{\text{вод}}}.$$

4. *Экспериментально-теоретический.* Для определения плотности этим методом с помощью рентгеноструктурного анализа определяется параметр и тип кристаллической решётки, определяется количество атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку.

$$\rho = \frac{A * n}{N * a^3},$$

где A – атомный вес, n – количество атомов в элементарной ячейке, N – число Авогадро, a^3 – объём элементарной ячейки.

3.7 Определение электрических свойств металлов – определение удельного электросопротивления

Под электрическими свойствами понимается или удельное сопротивление, или удельная проводимость.

Эти характеристики являются константами для данного материала и не зависят от формы и размера материала. Разработаны следующие методы измерения этих величин:

1. Метод вольтметра-амперметра.
2. Метод одинарного моста.
3. Метод двойного моста.
4. Компенсационный метод.
5. Трансформаторный бесконтактный.

Метод вольтметра-амперметра

В основе метода лежит закон Ома:

$$R = \frac{U}{I}$$

$$R = \rho * \frac{l}{S}$$

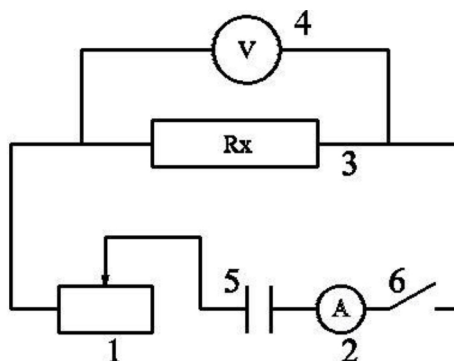


Рис. 22. Электрическая схема метода вольтметра-амперметра

1. Переменное сопротивление для регулирования силы тока в цепи.
2. Амперметр для определения силы тока в цепи.
3. Определяемое сопротивление.
4. Вольтметр.
5. Источник питания.
6. Выключатель.

Условия работы (рис. 22):

1. Через цепь должен течь ток, который не вызывает нагревания элементов в цепи.
2. Ёмкость источника 5 должна быть такой величины, чтобы она не изменялась в процессе измерения в цепи.
3. Сопротивление вольтметра должно быть на 2 порядка выше, чем сопротивление исследуемого образца.
4. Измеряемое сопротивления должно быть намного выше элементов электрической цепи, особенно, переходных контактов.

Данный метод имеет среднюю точность измерения сопротивления и применяется для определения достаточно больших сопротивлений.

Метод одинарного моста

$$\frac{R_x}{R_{эт}} = \frac{l_2}{l_1}.$$

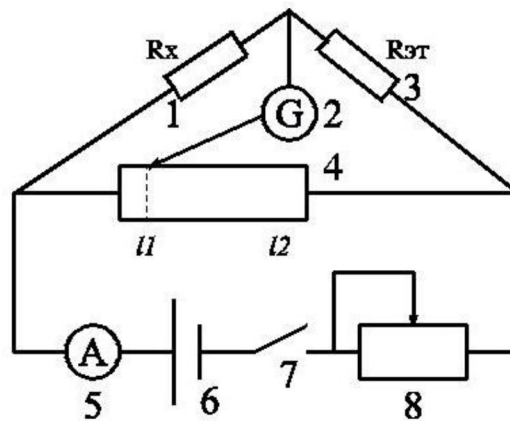


Рис. 23. Электрическая схема метода одинарного моста

1. Измеряемое сопротивление.
2. Ноль гальванометр.
3. Эталонное сопротивление.
4. Проволочный реостат.
5. Амперметр.
6. Источник питания цепи.
7. Выключатель.
8. Переменное сопротивление для регулирования силы тока в цепи.

Положение стрелки указывает на соотношение длин проволочного реостата, на котором ноль гальванометра обнуляется.

Условия работы (рис. 23): сопротивление эталона должно быть примерно равно измеренному сопротивлению. Для этого предварительно грубым методом определяется сопротивление R_x .

Этот метод достаточно точный, чтобы определить небольшие сопротивления.

3.8 Тепловые свойства веществ (теплопроводность, теплоёмкость)

Теплопроводность – это способность материала передавать тепло между двумя точками при наличии разницы температур между ними. Передача тепла в металлах и сплавах осуществляется двумя способами:

1. С помощью перемещения электронов свободного электронного газа.
2. Решёточная теплопроводность. За счёт колебания ионов, находящихся в узлах кристаллической решётки.

Электронная теплопроводность примерно в 30 раз больше, чем решёточная. Не смотря на то, что тепло осуществляется перемещением электронов, в объёме металла или сплава электронные токи отсутствуют. Это связано с тем, что при передаче тепла в металлах существуют 2 потока электронов, которые равны по величине, но противоположные по направлению. От точки с более высокой температурой высокоэнергетические электроны перемещаются в точку с более низкой температурой, а электроны с низкой энергией от точки с более низкой температурой к точке с более высокой температурой.

Измерение теплопроводности позволяет устанавливать наличие фазовых превращений в металлах и сплавах при изменении температуры и давления.

Существует 2 способа определения теплопроводности металлов и сплавов:

1. Относительный.
2. Абсолютный.

Относительный метод определения теплопроводности

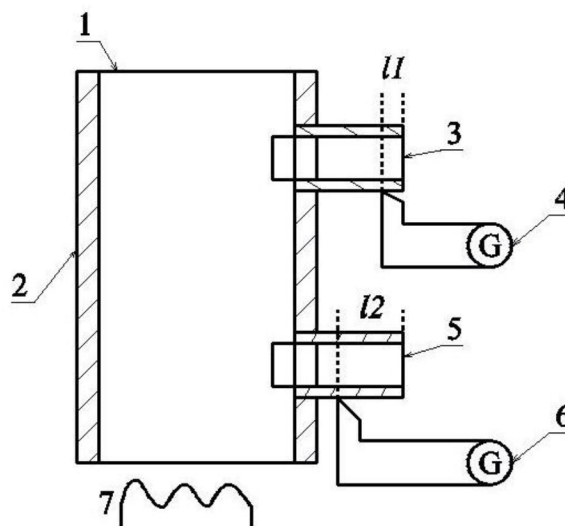


Рис. 24. Схема устройства для определения теплопроводности относительным методом

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{I_1^2}{I_2^2}$$

Металлическая болванка 1, которая с помощью нагревателя 7 нагревается до заданной температуры t , при которой производится изменение коэффициента теплопроводности. Болванка теплоизолирована для того, чтобы тепло отдавалось в окружающее пространство только через торцы стержней 3 и 5. 4 и 6 – это термопары с гальванометрами, которые служат для замера температуры на поверхности стержней 3 и 5. Измерения осуществляются следующим образом: болванка 1 нагревается до требуемой температуры, а на поверхности стержней, для одного из которых теплопроводность известна, а для другого определяется, находят такие точки, в которых температура равна (рис. 24).

Абсолютный метод определения теплопроводности (рис. 25)

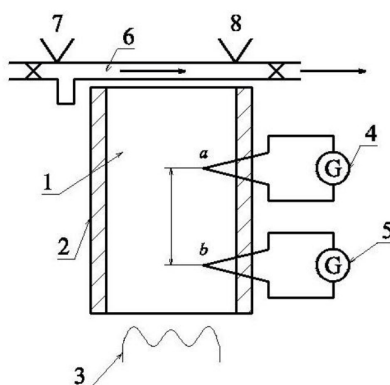


Рис. 25. Схема устройства для определения теплопроводности абсолютным методом

$$Q = \lambda * \frac{S * \tau * \Delta t}{l}$$

$$Q = m_e * c_e * (t_2 - t_1)$$

1. Цилиндрический образец, для которого определяется теплопроводность. Боковые поверхности образца теплоизолированы.
2. Теплоизоляция.
3. Нагревательное устройство.
4. Термопара с гальванометром для измерения температуры внутри образца на расстоянии l .
5. Термопара с гальванометром для измерения температуры внутри образца на расстоянии l .
6. Калориметр для замера количества тепла прошедшего через исследуемый образец.
- 7-8. Это устройство для измерения температуры охладителя на входе и выходе из калориметра.

Цилиндрический образец имеет площадь сечения S .

l – расстояние между a и b .

t – время.

S – площадь образца.

Q – количество тепла прошедшего через калориметр.

Теплоёмкость – это количество энергии (работы), которое необходимо затратить, чтобы повысить температуру массы сплава 1 грамм на 1 градус.

Она характеризует силы связи между ионами в узлах кристаллической решётки. Чем сильнее связь, тем большую работу необходимо совершить для нагрева на 1 градус.

Существует 2 основных метода определения теплоёмкости тел:

1. Калориметрический.
2. Динамический.

Динамический способ определения теплоёмкости

При этом методе образцами являются проволока из исследуемого материала. К проволоке приваривается термопара. Однако, горячий спай такой термопары не должен искажать температурного поля в месте сварки (рис. 26).

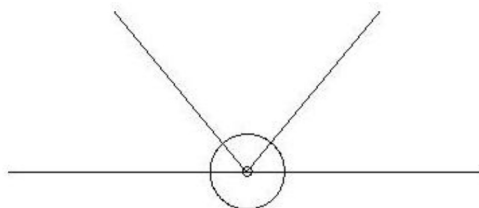


Рис. 26. Схема спая термопары с образцом

Через исследуемый образец, масса которого определяется путём взвешивания, протекает импульсный ток длительностью 0,01 с. Исследуемый проводник разогревается и это изменение разогрева измеряется термопарой.

Считается, что процесс разогрева идёт адиабатически, то есть без обмена с внешней атмосферой.

$$Q = I^2 * R * \tau$$

$$Q = m * c * (t_2 - t_1)$$

Длительность импульса и сила тока в данном случае измеряется запоминающими осциллографами.

3.9 Дилатометрия – изменение линейных размеров материала при фазовых превращениях

Дилатометрия – это изменение линейных размеров материала при изменении внешних условий, вызывающих фазовые превращения в материале.

К внешним условиям можно отнести:

1. Температуру.

2. Давление окружающей атмосферы.
3. Механические воздействия.

Изменение длины материала или дилатация связано с изменением удельных объёмов различных фаз.

Приборы, позволяющие определить изменение линейных размеров при фазовых превращениях, называются *дилатометрами*. Они бывают простыми и дифференциальными. Простые измеряют абсолютное изменение длины образца, а дифференциальные измеряют разницу длин эталона и исследуемого образца.

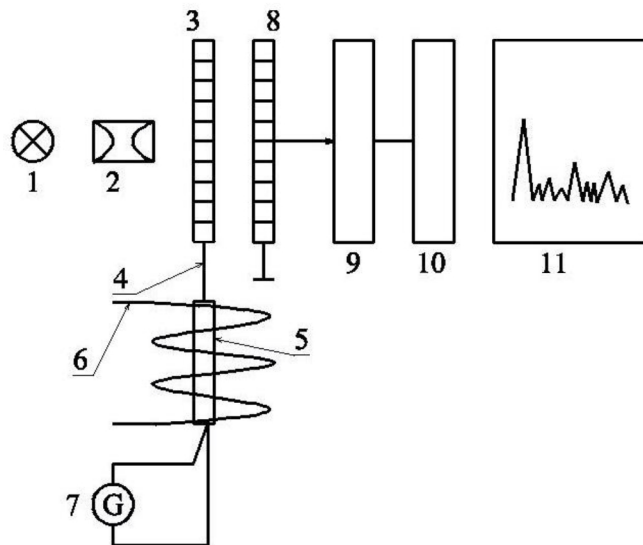


Рис. 27. Схема устройства дилатометра

1. Источник света.
2. Конденсор – оптическое устройство для получения параллельного пучка света.
3. Подвижная решётка, в которой ширина поперечен равна зазору между поперечинами.
4. Кварцевый стержень (материал, имеющий маленький коэффициент термического расширения).
5. Исследуемый образец.
6. Нагревательное устройство исследуемого образца.
7. Термопара с гальванометром для определения температуры исследуемого образца.
8. Неподвижная решётка.
9. Устройство преобразования света в электрический сигнал.
10. Электронный усилитель электрического сигнала.
11. Самописец для записи величины электрического сигнала.

Свет от осветителя 1, проходя через конденсёр 2 преобразуется в параллельный пучок света. Этот пучок направляется на подвижную решётку, которая в первоначальный момент времени своими перемычками перекрывает окна на неподвижных решётках. Подвижная решётка с

помощью кварцевого стержня 4 соединяется с исследуемым образцом 5. Температуру исследуемого образца можно измерять с помощью гальванометра 7. При изменении температуры исследуемого образца изменяется его длина, как за счёт термического расширения при нагреве, так и за счёт фазовых превращений, происходящих в объёме образца. Это вызывает перемещение подвижной решетки относительно неподвижной, и свет от источника 1 начинает проходить сквозь неподвижной решетки и попадает на преобразователь 9. Чем больше открываются окна в неподвижной решетке, тем интенсивнее свет попадает на преобразователь. Электронный сигнал с преобразователя 9 подается на электронный усилитель 10 и затем подается на самописец (рис. 27).

Перед началом работы dilatометра производится его тарировка, то есть строятся графики изменения величины светового потока от степени открытости окон неподвижной решетки.

В этом случае перемещение решеток относительно друг друга производится с помощью микрометрических винтов, а величина освещенности определяется с помощью электронных устройств.

3.10 Термоэлектрические эффекты в металлах и сплавах

Термоэлектрические свойства металлов и сплавов (эффект Зеебека)

Если взять два проводника *A* и *B*, имеющих различную природу и соединить их концы и затем место соединения нагреть до температуры T_1 и T_2 , не равных между собой, то в замкнутой цепи возникнет электрический ток (рис. 28).

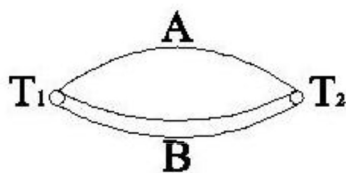


Рис. 28. Схема эксперимента для выявления эффекта Зеебека

Если с одной стороны разъединить концы, то на этих концах возникнет ЭДС. Место спая с более высокой температурой называют горячим спаем, а место соединения с более низкой температурой или место разъединения называют холодным спаем. Устройство с вышеописанной конструкцией называется *термопарой*. Оно служит для измерения температуры.

$$E = a\Delta T + b\Delta T^2 + \dots$$

Термопары подразделяются на простые и дифференциальные.

Простая термопара предназначена для измерения абсолютной температуры тела. Она имеет один горячий и один холодный спай (рис. 29а).

Дифференциальная термопара предназначена для измерения температуры в 2-х точках. Она имеет 2 горячих и 1 холодный спай (рис. 29б).

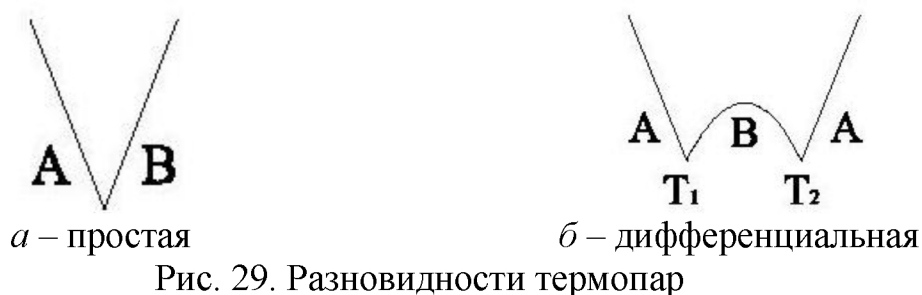


Рис. 29. Разновидности термопар

$$T_1 = T_2 \Rightarrow \varepsilon = 0$$

Обычно дифференциальные термопары используются при изучении фазовых превращений в металлах и сплавах. Для этого берутся 2 образца, один из которых является эталоном. Он состоит из металла или сплава, для которого известно, что в определённом интервале температур в этом образце не происходит никаких фазовых превращений.

Второй образец приблизительно аналогичных геометрических размеров, как и эталон, но является объектом исследования на наличие фазовых превращений в этом же интервале температур.

Сигнал с холодного спаёв подаётся на самописец, в случае если в исследуемом материале отсутствуют фазовые превращения в рассматриваемом интервале температур, то на ленте самописца будет получен линейный сигнал в течение всего времени исследования (рис. 30).

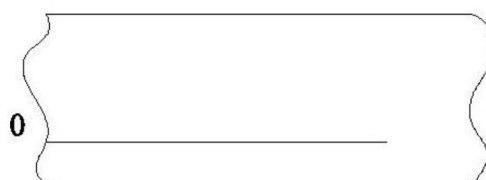


Рис. 30. Фрагмент ленты самописца с линейным сигналом

Если в исследуемом материале имеются фазовые превращения, то в зависимости от характера этого превращения (экзотермическое или эндотермическое) на записываемой линии появляются пики (рис. 31).

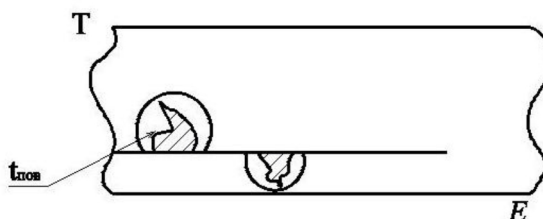


Рис. 31. Фрагмент ленты самописца с пиками, вызванными фазовыми превращениями

4 Определение упругих свойств веществ

Под упругими свойствами металлов и сплавов понимается характер взаимодействия ионов в узлах кристаллической решётки при приложении внешней механической нагрузки. Величинами, которыми характеризуют свойство металлов и сплавов является:

$$\mu = \frac{\frac{\Delta^* a}{\Delta^* l}}{a}$$
$$D = \frac{E}{3 * (1 - 2\mu)}$$
$$E = \sigma * E$$
$$\sigma = \frac{F}{S_0}$$
$$G = \frac{E}{2 * (1 + 2\mu)}$$

где μ – коэффициент Пуассона; E – Модуль Юнга; G – модуль сдвига; D – модуль всестороннего сжатия; σ – приложенное внешнее напряжение (рис. 32).

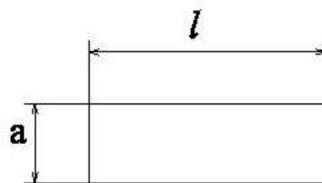


Рис. 32. Параметры образца для определения упругих характеристик материала

Существует 2 метода определения величин жёсткости или упругости:

1. Статический метод определения.
2. Резонансный метод определения.

При *статическом методе* определения модуля Юнга изготавливаются круглые или плоские образцы определённой конфигурации, которые затем подвергаются опытам в разрывных машинах. Для определения модуля Юнга строятся графики изменения напряжений от взаимной деформации тела. При этом используются только прямолинейные участки (рис. 33).

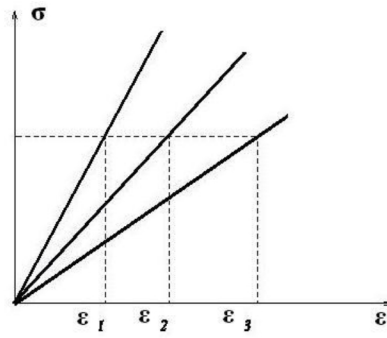


Рис. 33. График зависимости ϵ от σ

При *резонансном методе* используется аналитическая зависимость модуля Юнга от резонансной частоты вынужденных колебаний тела определенной геометрии:

$$E = 4f^2 l^2 d,$$

где f – резонансная частота собственных колебаний исследуемого образца; l – длина образца; d – плотность материала образца.

5 Химические методы анализа материалов

5.1 Коррозия металлов

Коррозия – это разрушение поверхностных слоёв материалов под воздействием внешней среды. По своей природе различают 3 вида коррозии:

1. Химическая.
2. Электролитическая.
3. Физическая.

Под *химической* коррозией понимается образование химических соединений в результате взаимодействия внешней среды с материалами. В этом случае продуктами коррозии являются оксиды, нитриды, соли, щёлочи, гидроокиси.

При *электролитической* коррозии разрушение возникает в процессе электролиза между отдельными структурными составляющими сплава, так как они имеют различный электрохимический потенциал. Для возникновения этого вида коррозии необходимо наличие электролита на поверхности материала. Такими электролитами могут являться: влага воздуха, речная и морская вода, селитра и расплавы металлов. При возникновении гальванической пары разрушается фаза с наиболее меньшим отрицательным электрохимическим потенциалом.

Физическая коррозия вызывается возникновением физических процессов при изменении внешних условий: температура, давление, электромагнитные излучения и воздействия потока заряженных частиц, испарение легколетучих компонентов, особенно, в вакууме.

По виду поражения коррозией, её подразделяют (рис. 34):

1. Местная.
2. Равномерная.
3. Питтинговая.
4. Межкристаллитная.

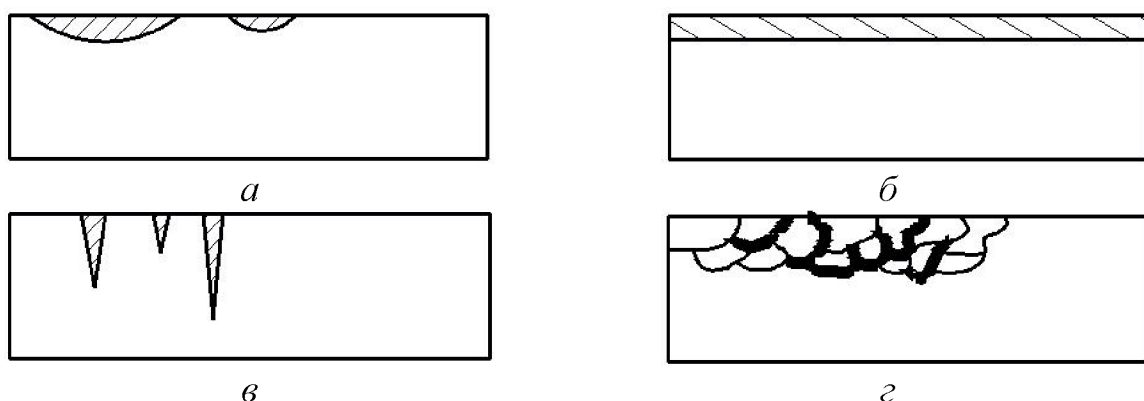


Рис. 34. Виды коррозии:

а – Местная; *б* – равномерная; *в* – питтинговая; *г* – межкристаллитная

5.2 Факторы, влияющие на протекание коррозии

Все факторы подразделяются на внешние и внутренние.

К *внешним* относятся: температура, давление, интенсивность потока частиц, энергия падающих частиц, интенсивность электромагнитного поля, в частности, увеличение температуры приводит к увеличению скорости коррозионных процессов. При этом резко ускоряются диффузионные процессы.

$$V = a * T^n$$
$$n \approx 3$$

где T – температура процесса, a – константа материалов.

Изменение скорости процессов коррозии зависит от того, в каком пространстве она протекает, в свободном или замкнутом (рис. 35).

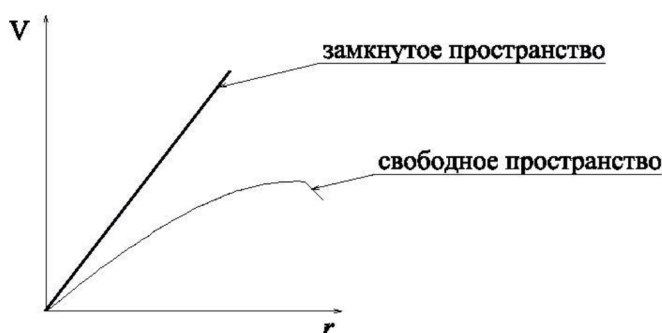


Рис. 35. Зависимость степени повреждаемости от типа внешней среды

К *внутренним* факторам относятся:

1. Однородность химического состава по объёму материала.
2. Наличие остаточных напряжений в материале, которые вызываются пластическими деформациями, разностью термических коэффициентов расширения. Чем больше разность термических коэффициентов расширения, тем больше остаточные напряжения, и тем интенсивнее развиваются процессы коррозии.

Путём проведения некоторых режимов термомеханической обработки (ТМО) можно снизить интенсивность коррозии. Например, закалка, увеличивая гомогенность сплава X18H9T и алюминиевых сплавов Д16, следовательно снижают скорость протекания коррозионных процессов. Процессы старения алюминиевых сплавов приводят к интенсивному протеканию коррозии.

5.3 Методы испытания металлов на коррозию

1. *Натурные испытания.* При данных видах испытаний на предприятиях, выпускающих продукцию в виде листов, отводятся определённые площади (полигон). На полигонах располагаются стеллажи, на

которых устанавливаются испытываемые образцы. Площадь полигона не должна быть затемнена. Поверхность стеллажей располагается под углом 45° к плоскости горизонта и обращена на юг. Стеллажи изготавливаются из диэлектриков. Образцы не должны соприкасаться друг с другом. Обычно образцы имеют размеры 150-200 мм. И перед расположением на стеллажах подвергаются специальной обработке, которая заключается в промывке поверхности образцов или этиловым спиртом, или очищенным бензином. Если на образцах имеются покрытия, то промывку осуществляют дистиллированной водой. Время выдержки от нескольких недель до $10 \div 20$ лет. Оценка коррозионных свойств осуществляется по изменению веса образцов, по изменению состояния поверхности материалов и с помощью металлографических испытаний. В некоторых случаях проводят определённые изменения химического состава с помощью рентгеноспектрального анализа, электронографов.

Иногда на площади полигонов устанавливаются специальные будки, имеющие крышу и боковые поверхности в виде жалюзи, в этом случае имитируется хранение продукции в складских условиях.

2. *Определение растрескивающей коррозии (РК).* При этом методе испытаний чаще всего образцы листовой продукции устанавливают в упруго напряжённом состоянии. Испытание может проводиться или непрерывно (погружением), или чередующимся (погружение, извлечение). При этом виде испытаний оценивается время до появления первой трещины на поверхности и до разрушения. При испытаниях допускаются в некоторых случаях волосообразные мелкие трещинки.

3. *Определение расслаивающей коррозии (РСК).* При этих испытаниях берётся образец, площадь которого не меньше 48 см^2 . При этом, если одна из поверхностей, обрабатывалась давлением, то в этом месте снимается слой 5 мм. Образец помещается также в рабочую жидкость, чаще всего образец имеет плоскую форму (рис. 36).

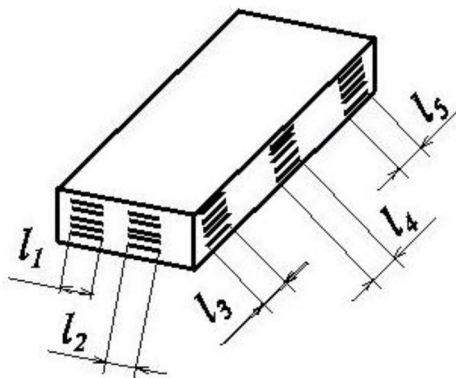


Рис. 36. Форма образца для испытания на расслаивающую коррозию

$$PCK = \sum \frac{l_i}{l_0} * 100\%.$$

Этому виду коррозии подвергаются, как металлы и сплавы, так и сложные конструкционные материалы.

4. *Межкристаллитная коррозия (МКК).* Для определения этого вида коррозии также как и для расслаивающей коррозии используется образец площадью 48 см². После выдержки в электролите на поперечных сечениях образца при увеличении 400÷700 крат определяется глубина МКК (рис. 37).

$$МКК = \frac{h_{\max}}{h_0} * 100\%.$$

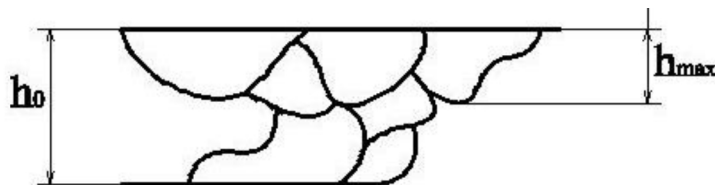


Рис. 37. Образец для испытания на межкристаллитную коррозию

Существуют и другие методы оценки межкристаллитной коррозии.

6 Анализ газов в веществах (в жидких и твёрдых металлах)

Газы, растворенные в металлах и сплавах, в большинстве случаев приводят к образованию дефектов снижающих прочностные свойства материала. В алюминиевых сплавах основные газы, которые содержатся в металле – это кислород, водород, азот. При этом на долю водорода приходится 95% SO_2 .

Существуют специальные технологии уменьшения содержания газов в металлах. Это продувка активными и инертными газами. Обработка активными шлаками, фильтрация, вакуумирование.

Так как операция удаления газов из металлов является дорогой, то в производстве разрабатываются предельные концентрации растворенных газов, которые контролируются в процессе производства полуфабрикатов.

Газы в алюминиевых сплавах могут находиться в следующих формах:

1. В виде раствора в жидком состоянии.
2. В молекулярной форме.
3. В виде химических соединений (гидридов).

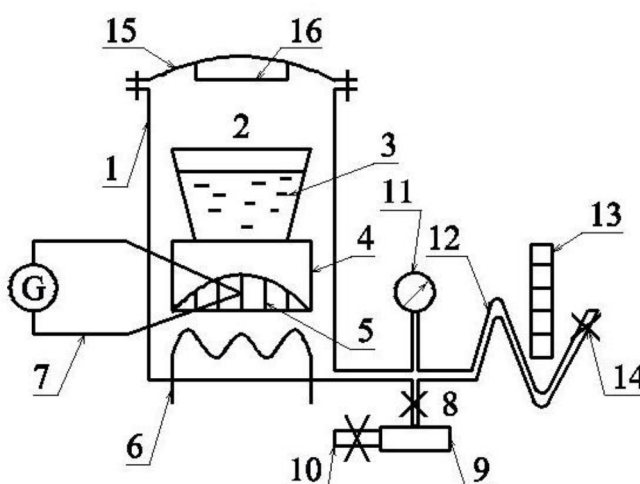


Рис. 38. Схема определения содержания H_2 в алюминиевых сплавах методом первого пузырька

$$\lg S = -\frac{A}{T} + B + \frac{1}{2} * \lg P_a$$

1. Вакуумная камера.
2. Тигель из огнеупорного материала.
3. Порция жидкого исследуемого материала.
4. Подставка для тигелька с жидким металлом, являющаяся так же предохранителем от попадания жидкого металла на нагреватель 6.
5. Массивная металлическая болванка, являющаяся аккумулятором тепла для поддержания постоянно температуры.
6. Нагреватель.

7. Термопара с гальванометром для замера температуры исследуемой порции металла.
8. Вакуумный вентиль присоединения вакуумного насоса 9 к вакуумной установке.
9. Вакуумный насос.
10. Вакуумный вентиль для соединения вакуумной системы с окружающей атмосферой.
11. Монометрический вакуумметр для определения величины атмосферного давления в вакуумной системе.
12. V-образный ртутный манометр для точного определения остаточного давления в вакуумной системе.
13. Шкала для измерения величины остаточного давления (по разности уровня ртутного манометра).
14. Вакуумный вентиль для соединения ртутного манометра с атмосферой.
15. Крышка вакуумной камеры с вакуумным окном 16.

Окно предусмотрено для наблюдения за поверхностью расплава в тигле и фиксации момента первого пузырька на поверхности расплава. В этот момент фиксируется остаточное давление в вакуумной камере и температура расплава. После этого возможен расчёт содержания газа в металле. По выражению:

$$\ln S = -\frac{A}{T} + B + \frac{1}{2} * \lg P,$$

где S – количество газов в см³ на 100 граммов расплава, T – температура, P – остаточное давление в вакуумной камере в мм.рт.ст., A и B – константы исследуемого сплава, учитывающие его физическую природу.

Определение содержания газа производится следующим образом: из печи с помощью специального черпака берётся проба объёмом 400÷500 см³. Проба забирается на глубине 50 см от поверхности расплава, при этом измеряется температура в плавильном агрегате расплава и металл переливается в термостат, который предохраняет снижение температуры взятой пробы. Проба доставляется к месту расположения прибора – прибора Гудченко, и из термостата часть расплава переливается в тигель, находящийся внутри вакуумной камеры. Камера закрывается крышкой и начинается охлаждение воздуха с помощью вакуумного насоса. Одновременно с этим через окно ведётся наблюдение за поверхностью расплава в тигле. В момент появления первого пузырька (появление вздутия на поверхности окисной плёнки) фиксируется температура и давление. Обычно проводится трёхкратное определение содержания газа и рассчитывается средняя величина содержания (рис. 38).

Используемые источники

1. http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:X-ray_tube_3.jpg
2. http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Vsv_29.jpg