

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ**

**ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**(ДГТУ)**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

К выполнению лабораторных работ

По дисциплине Материалы и их поведение при сварке

ОПОП Оборудование и технология сварочного производства

Направление 15.03.01 Машиностроение

Кафедра Машины и автоматизация сварочного производства

Ростов – на – Дону - 2020г.

ББК

УДК 621.791.001.039

Рецензент: зав. Кафедрой «Технология машиностроения».

Доктор техн. наук С.Н. Егоров

М56 Полетаев Ю.В., Щепкин В.В., Полетаев В.Ю.

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Материалы и их поведение при сварке» / ДГТУ. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2020. 38 с.

ISBN

Методические указания предназначены для студентов 3 и 4 курса очной и заочной формы обучения по специальности 15.03.01 Машиностроение, профиль «Оборудование и технология сварочного производства». Содержат рекомендации по организации выполнения лабораторных работ и требования по оформлению отчетов.

Табл. 3. Ил. 25. Библ. 10 назв.

М \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ УДК

ISBN © , Полетаев Ю.В., Щепкин В.В., Полетаев В.Ю.

2020 г.

**Лабораторная работа № 1.**

**Тема: Определение температур фазовых превращений в сплавах.**

Цель работы: научиться самостоятельно определять температуру кристаллизации металлов и сплавов термическим методом, строить кривые нагрева и охлаждения и на основании этих кривых строить диаграмму состояния.

Оборудование и материалы: тигельная электрическая печь с автотрансформатором, тигель, термометр до 500°С, секундомер, металл свинец и сплавы «Свинец - Сурьма» c 5, 10, 13, 25, 40% Сурьмы.

**Пояснение к работе.**

Фазовые и структурные превращения в металлах и сплавах приводят к изменению их физических свойств. При фазовых превращениях происходит выделение или поглощение скрытой теплоты превращения, а также наблюдается изменение в теплоемкости материала. Следовательно, при изменении структуры металла или сплава, нагреваемого или охлаждаемого с постоянной скоростью, могут появиться остановки, скачки или отклонения от нормальной кривизны на кривых изменения температуры в функции от времени. По этим графикам (термическим кривым) можно определить температуру или температурный интервал превращения.

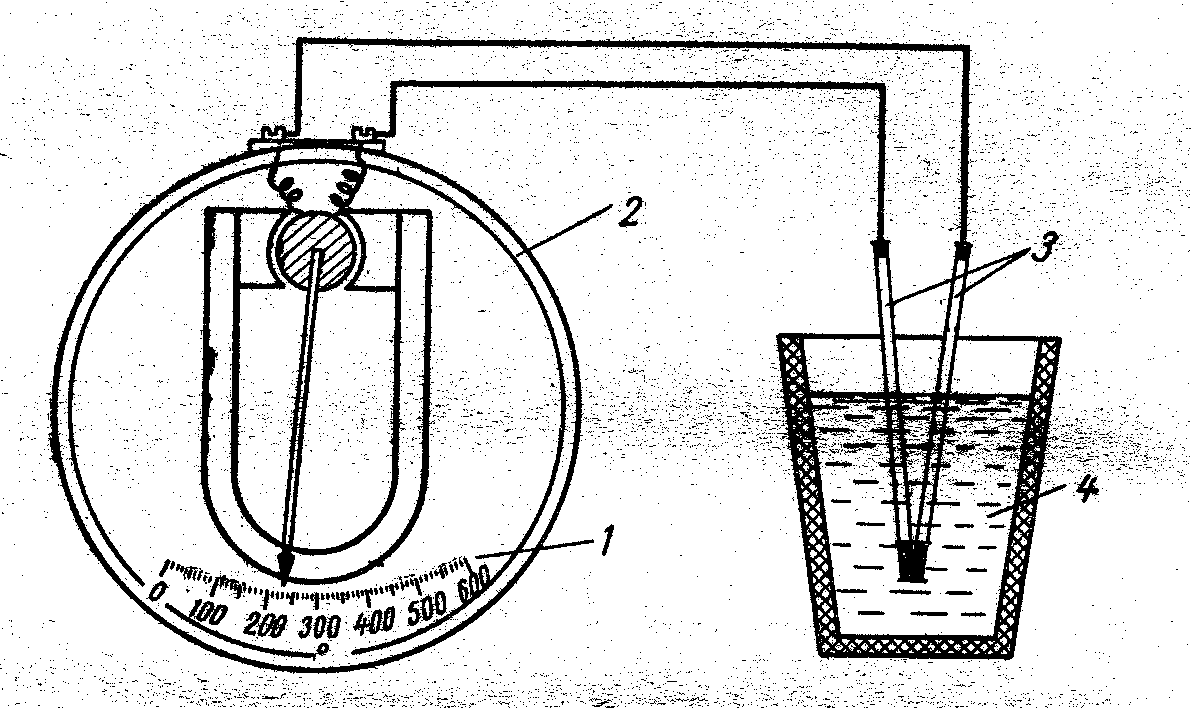
Первичной кристаллизацией называется процесс образования твердых кристаллов в жидком металле или сплаве при охлаждении. Перекристаллизацию из одной модификации в другую при остывании затвердевшего металла называют *вторичной кристаллизацией.* Процесс кристаллизации металла исследуют с помощью лабораторной установки, схема которой показана на рисунке 1. Установка состоит из милливольтметра 2, подключенного к термопаре 3. Термопару (две разнородные проволоки, со спаянными концами) погружают в расплавленный металл 4. Возникающий при этом термоток пропорционален температуре металла и стрелка милливольтметра отклоняется, указывая эту температуру по градуированной шкале 1.

Показания пирометра автоматически записываются во времени и по полученным данным строят кривые охлаждения в координатах «температура — время» (такие кривые вычерчивает самописец).

Температура, соответствующая какому-либо превращению в металле, называется *критической точкой.*

На рис.2, приведены кривые нагрева и охлаждения металла. Здесь точка *а —* начало плавления, точка b — окончание плавления.

**Рис.1. Схема измерения температуры металла термоэлектрическим пирометром.**



**а) б) в)**

**Температура**

**Температура**

**Температура**

**tпл**

**tпр**

**tпл**

**tпр**

**tпл**

**a**

**b**

**Рис.2. Кривые нагревания (а) и охлаждения (б – без петли, в – с петлей) металла.**

Участок *ab* указывает на неизменность температуры во времени при продолжающемся нагреве. Это показывает, что тепловая энергия затрачивается на внутреннее превращение в металле, в данном случае, на превращение твердого металла в жидкий (скрытая теплота плавления).

Переход из жидкого состояния в твердое при охлаждении сопровождается образованием кристаллической решетки, т. е. кристаллизацией. Чтобы вызвать кристаллизацию, жидкий металл нужно *переохладить* несколько ниже температуры плавления. Поэтому площадка на кривой охлаждения (рис.2,б) находится несколько ниже *tпл* при температуре переохлаждения *tпр,.*

У некоторых металлов переохлаждение (*tпл – tпр*) может оказаться весьма значительным (например, у сурьмы до 40°) и при температуре переохлаждения *tпр* (рис. 2,в) сразу бурно начинается кристаллизация, в результате чего температура скачком повышается почти до *tпл.* В этом случае на графике вычерчивается петля теплового гистерезиса.

При затвердевании и при аллотропическом превращении в металле вначале возникают зародыши кристалла (центры кристаллизации), вокруг которых группируются атомы, образуя соответствующую кристаллическую решетку.

Таким образом, процесс кристаллизации складывается из двух этапов: образования центров кристаллизации и роста кристаллов.

У каждого из возникающих кристаллов кристаллографические плоскости ориентированы случайно, кроме того, при первичной кристаллизации кристаллы могут поворачиваться, так как они окружены жидкостью. Смежные кристаллы растут навстречу друг другу и точки их соприкосновения определяют границы кристаллитов (зерен).

**Порядок выполнения работы.**

1. Включить и нагреть печь до температуры выше температуры плавления сплава. Температуры нагрева сплавов приведены в таблице 1.
2. Поместить в печь тигель со сплавом. При достижении заданной температуры нагрева сплав выдержать в печи в течение 3-5 мин.
3. Вынуть тигель из печи и поставить его на специальное приспособление. Через каждые 30с фиксировать температуру охлаждающего сплава. Данные занести в таблицы 1 и 2. Охладить сплавы до температуры 150-180°С.
4. В таблицу 1 занести отчеты температуры исследуемого сплава: Pb…%, Sb…% при охлаждении.
5. Построить кривые охлаждения сплавов в координатах температура-время.
6. На термических кривых отметить критические точки и занести в таблицу2.
7. Составить отчет о проведенной работе.

**Таблица 1.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номера отчетов | Температура сплавов  °С | Номера отчетов | Температура сплавов  °С | Номера отчетов | Температура сплавов  °С |  |  |

**Таблица 2.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Состав сплава, % | | Температура, °С | |
| Pb | Sb | t н.кр | tк.кр |
| 100 | 0 |  |  |
| 95 | 5 |  |  |
| 90 | 10 |  |  |
| 87 | 13 |  |  |
| 75 | 25 |  |  |
| 60 | 40 |  |  |

**Требования к отчету.**

1. Записать цель работы.
2. Используемые приборы и материалы.
3. Краткое описание работы.
4. Зарисовать схему установки.
5. Начертить кривые охлаждения сплавов.
6. Сделать выводы по работе.

**Контрольные вопросы.**

1. Что называется диаграммой состояния?
2. Какими способами можно построить диаграмму состояния?
3. Какие температуры называются критическими?
4. Что дает анализ диаграммы состояния?
5. Что такое фаза, степень свободы, компонент?

**Лабораторная работа № 2.**

Тема: Способы приготовления металлографических макро- и микрошлифов.

Цель работы: ознакомиться со способами приготовления и научиться изготавливать макро и микрошлифы.

Оборудование и материалы: палитра наждачных бумаг, напильники с разной величиной насечки, надфили, металлообрабатывающие станки (токарный, фрезерный, шлифовальный (заточной)), металлические образцы, ветошь, этиловый спирт, вода.

Пояснение к работе.

Вырезка образца.

Применяемый метод изготовления образцов имеет решающее значение для эффективного и правильного металлографического анализа.

Первым этапом является правильная вырезка образца. При целенаправленной вырезке образца исследуемый участок (например, трещина) должен полностью попасть в образец. Для сравнения следует, кроме того, вырезать образец из другого участка этой детали. Систематическая вырезка образцов должна дать представление о структуре большей области или всей детали. При этом количество образцов, отобранных из различных мест изделия, должно обеспечить возможность статистической обработки. Отбор образцов можно осуществлять механическим (рубкой, резкой, обточкой), электроэрозионным или электрохимическим способами.

На следующем этапе изготовления металлографического объекта имеет значение, в каком месте образца проходит плоскость шлифа. В случае исследования структуры прокатанного листа следует различать шлифы, изготовленные в продольной и поперечной плоскостях, а также в плоскости прокатки (рис. 3). Если образец имеет тонкий поверхностный слой (например, при азотировании), то рекомендуют изготавливать косой шлиф, так как при этом видимая в поле шлифа поверхность, соответствующая

***D =* d/sin *а,*** будет больше (рис. 4).

**Рис. 3. Изготовление шлифов в продольной *L* и поперечной Q плоскости, а также в плоскости прокатки *F* .**

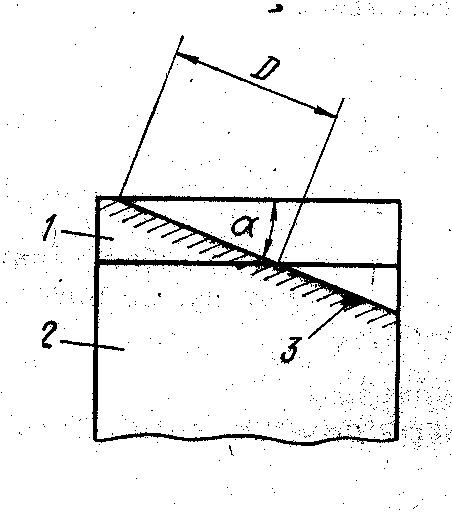
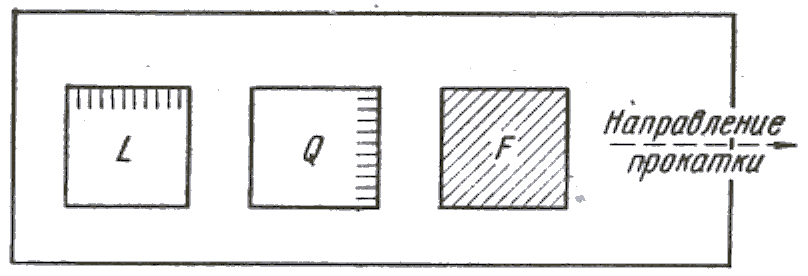
**Рис. 4, Изготовление косого шлифа**

**(поверхностный слой толщиной D):**

**1 — поверхностный слой;**

**2 — основной материал;**

**3 — плоскость шлифа.**



Приготовление ровной плоскости, необходимой для шлифа, возможно с помощью проточки, фрезерования, опиливания или шлифовки на плоскошлифовальном станке.

Шлифовка и полировка

Для приготовления металлографического шлифа используют обычно образцы размерами 10х10х20 мм. Если нет образца таких размеров, то можно изготовить шлиф на любом образце с достаточно большой плоскостью опоры. При этом во многих случаях используют зажимы.

Для очень маленьких образцов или при изготовлении шлифа в определенной плоскости использование зажимов недостаточно, и образцы следует заливать или запрессовывать в специальные вещества. Это вещество должно удовлетворять следующим требованиям:

1. Плотно облегать шлиф, чтобы травитель не проникал в зазор и поры.

2. Не реагировать с травителем.

3. Твердость его должна быть соизмерима с твердостью образца.

Преимущественно используют органические вещества, такие, как акрил и эпоксидная смола. Металлографические шлифы в заливке изготавливают вручную или на шлифовальных станках. Наждачная бумага, используемая при шлифовке, состоит из картона или полотна, на которые равномерно нанесены или наклеены шлифующие материалы (корунд,. Al2O3, SiC). Однородную величину зерна шлифующего материала получают просеиванием и отделением наиболее мелкой фракции промывкой (табл. 3).

**Таблица 3. Величина зерна и обозначение наждачной бумаги для металлографичес-кого анализа.**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Обозначение величины зерна (номер бумаги) | Размеры зерна, мкм | Группа бумаги по зерну |
| 315 | 3150 – 2500 | Очень грубая |
| 200 | 2000 – 1600 |
| 160 | 1600 – 1250 | Грубая |
| 80 | 800 – 630 |
| 63 | 630 – 500 | Средняя |
| 32 | 315 – 250 |
| 25 | 250 – 200 | Тонкая |
| 10 | 100 – 80 |
| 8 | 80 – 63 | Очень тонкая |
| 5 | 50 - 40 |

При шлифовке образца постепенно переходят к более мелкому зерну. При этом образец поворачивают на угол 90° и шлифуют до тех пор, пока не исчезнет рельеф от шлифовки на предыдущей бумаге.

Окончательно для полного выравнивания и сглаживания плоскости шлифа производят полировку. В качестве полирующего материала применяют полирующие минеральные порошки в виде водных суспензий с тремя уровнями дисперсности.

Как и при шлифовке, полировать можно вручную или машинным способом. При машинной полировке образец вращается или двигается на полировальном кругу, обтянутом тканью (шерстяной, шелковой или бархатом), до тех пор, пока не исчезнут микроскопические риски. После этого необходимо промыть шлиф в дистиллированной воде, сполоснуть в спирте и высушить феном.

Механическая шлифовка и полировка сопровождаются пластической деформацией поверхности. Возникающий при этом поверхностный слой, обладающий специфической искаженной структурой (так называемый слой Билби), можно снять многократным попеременным травлением и полировкой. Избежать образования этого слоя можно путем использования химической или электрохимической полировки.

Специальные методы подготовки шлифов

Для изготовления образцов из материалов с невысокой твердостью (особенно полимеров) применяют микротом.

С помощью твердосплавного или алмазного резца снимают тонкие слои с поверхности материала, не допуская проникновения шлифующего зерна в образец. При этом в металлических материалах, как правило, удается значительно уменьшить глубину поверхностных слоев с измененной структурой.

Для микротома с резцом из твердого сплава это достижимо в том случае, если твердость металлического материала невысока (например, ниже твердости обычной строительной стали). Применение микротома не может устранить искажений структуры, имевших место на более ранней стадии изготовления образцов.

Керамические материалы или подобные им твердые вещества можно шлифовать и полировать только алмазом. Вырезают шлиф с помощью твердого шлифовального круга или алмазного инструмента.

Для изготовления шлифа (шлифовка и полировка) применяют алмазные порошки различной зернистости, нанесенные с помощью связующих на твердый шлифовальный инструмент или переработанный вместе с соответствующим веществом в пасту. При работе с алмазными пастами на качество шлифуемой поверхности влияет выбор материала, на который наносят пасту. Возможно применение войлока, чугуна и латуни.

Вибрационный способ имеет преимущества, заключающиеся в том, что при изготовлении шлифа уменьшается ручной труд и тем самым облегчается проведение подготовительных работ при осуществлении металлографического анализа. Этот процесс применим как для шлифовки, так и для полировки, причем вибрация шлифовального или полировального круга заменяет движение шлифа вручную. Недостатком этого метода является достаточно продолжительное время шлифовки или полировки, но это может быть компенсировано большим числом одновременно обрабатываемых образцов.

Для полировки, кроме названных, можно применить электрохимические процессы, которые без внешнего подвода тока называют химической и с подводом тока — электролитической полировкой. В обоих процессах применяют специальные электролиты, которые в большинстве случаев содержат сильные комплексообразователи. В процессе полировки на поверхности образуется слой жидкости, который во впадинах толще, чем на выступах, что обеспечивает преимущественное удаление металла на выступах (рис. 5).

В то время как скорость процесса при химической полировке зависит от концентрации окислителей и восстановителей, при электролитической полировке необходимо подключение внешнего электрического тока. При этом образец, подвергшийся предварительно механической полировке, является анодом. Поверхность шлифа располагается напротив катода (например, листа платины). Если проследить за процессом, протекающим на аноде, по кривой зависимости плотности тока от потенциала (рис. 6), то можно установить, что плотность тока после начального повышения и затем в широкой области значений потенциала остается постоянной. В этой области происходит полировка описанным способом.

**Рис. 5. Поверхность металла со слоем жидкости при электролитической полировке:**



**а – выступы на поверхности металла.**



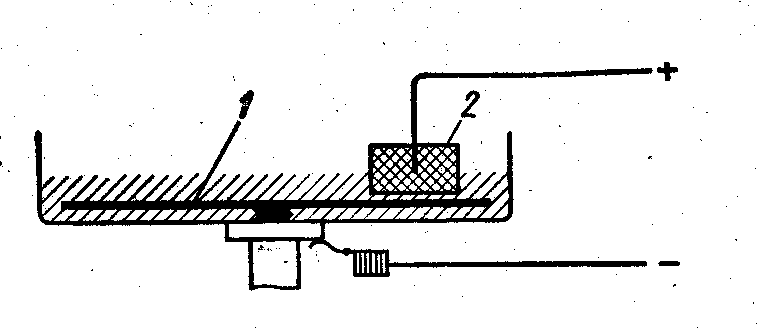
**Рис. 6. Зависимость плотности тока от потенциала при полировке металлов:**

**а – активное растворение; б – область полировки;**

**в – растворение в области перепассивации.**

При электролитической полировке сплавов с гетерогенной структурой возникают определенные трудности. Это связано с тем, что в то время, как одна из фаз растворяется при относительно высокой плотности тока, другая, более благородная фаза, не полируется совсем или полируется незначительно. Для таких сплавов оправдала себя комбинированная электролитически-механическая полировка.

Катодом при этом является медленно вращающийся круг из нержавеющей и кислотостойкой стали, обтянутый полировочным сукном и соединенный с полируемой поверхностью шлифа; последний является анодом (рис. 7). В качестве полирующего средства применяют специальный электролит, к которому для интенсификации полировки добавляют полирующие вещества.



**Рис. 7. Схема комбинированной электролитически-механической полировки:**

**1 – полировальный круг (катод); 2 – образец (анод).**

**Порядок выполнения работы.**

1. На фрезерном станке разрезают металл в интересующем месте.
2. Изготовляется макрошлиф в указанном выше порядке.
3. Изготовление микрошлифа производится в том же порядке, дополнительно полирую образец на полировальном кругу с пастой «Гои» до зеркального блеска.
4. Промыть поверхности образцов водой, затем этиловым спиртом и высушить.
5. Предоставить полученный результат, составить отчет и сделать выводы по работе.

Требования к отчету.

1. Записать цель работы.
2. Описать методику изготовления макро- и микрошлифов.
3. Сделать выводы по работе.

**Контрольные вопросы.**

1. Основные этапы изготовления металлографических шлифов?
2. Методика шлифовки образцов?
3. Методика полировки образцов?
4. Что такое косой шлиф?
5. Отличия макрошлифа от микрошлифа?
6. Специальные методы подготовки шлифов?
7. Достоинства и недостатки химической и электролитической полировки?
8. Сущность процесса электролитически-механической полировки?
9. При помощи какого оборудования изготавливают макро и микрошлифы?

**Лабораторная работа № 3.**

Тема: Определение твердости металлов и сварных соединений.

Цель работы: получить практические здания по способам определения твердости сталей и сварных соединений.

Оборудование и материалы: металлические образцы, прошедшие разные виды термообработки (закалка, нормализация, отжиг, отпуск), приборы для измерения твердости.

Пояснение к работе.

Испытание на твёрдость широко применяют на практике. Под «твёрдостью» понимают способность материала сопротивляться внедрению в него другого, более твёрдого тела.

Методы измерения твёрдости при статическом нагружении отличаются друг от друга формой индентора (шарик, пирамида, конус), его материалом (закалённая сталь, твёрдый сплав, алмаз) и величиной приложенной нагрузки (измерение макротвёрдости, твердости при малых нагрузках и микротвердости), а также способом выражения характеристик твёрдости. Определение твёрдости в макроскопической области, то есть с применением больших усилий (F ≥ 30 Н) при испытании соответственно приводит к получению большого отпечатка, который выбирают в качестве параметра макротвердости, характерного для структуры в целом. К испытаниям такого рода относятся способы определения твёрдости по Бринеллю, Виккерсу и Роквелу, а также некоторые специальные методы измерения твёрдости при вдавливании шарика. Нагрузки в последнем случае находятся в интервале 2 – 20 Н. Этот метод используют для испытания мелких деталей, тонких слоёв и материалов с низкой твёрдостью.

**По методу Бринелля** стальной закалённый шарик диаметром Д (10; 5; 2,5; 1,25 или 1мм) вдавливается в испытуемый образец силой F (29420, 9800, 4900 Н или меньше) – рис. 8. В результате на поверхности образуется отпечаток в виде полусферы диаметром d и глубиной h. Твёрдость по Бринеллю HB рассчитывается по формуле: **HB = 0,102F/А**, где коэффициент 0,102 введен, чтобы величина твёрдости не изменялась при переводе в систему СИ; F – приложенная нагрузка; А – поверхность сферической лунки, мм2. Поверхность отпечатка А(мм2) определяют по уравнению **А = πДh**,

**Рис. 8. Схема испытания по Бринеллю.**



где Д и h – диаметр шарика и глубина отпечатка, мм.

Однако в процессе определения твёрдости фиксируется не глубина внедрения шарика h, а диаметр отпечатка d.

По равенству **h = [Д – (Д2 – d2)1/2]/2**, можно рассчитать глубину внедрения h и получить формулу твёрдости по Бринеллю:

**HB = 0,102 \* 2 \* F/ π\* Д\* [Д – (Д2 – d2)1/2] .**

Толщина металла под отпечатком должна быть не меньше 10-ти кратной глубины отпечатка, а расстояние от центра отпечатка до среза поверхности не меньше Д.

Для испытания на твердость по Бринеллю в настоящее время применяют в основном рычажные прессы (рис. 9). Образец помещают на столике 1 и с помощью винта 9 поднимают до соприкосновения с шариком 2 и выше, чтобы сжать пружину 3, определяющую предварительную нагрузку 100 кг*.* Затем включают электродвигатель, который приводит в движение эксцентрик 7. При вращении эксцентрика шатун 6 опускается, и грузы 8 через систему рычагов 5 и 4 создают давление на шарик. При дальнейшем вращении эксцентрика шатун поднимается и снимает давление грузов с образца; когда шатун находится в верхнем положении, электродвигатель автоматически выключается. Таким образом, время испытания определяется одним оборотом эксцентрика. После остановки электродвигателя снимают предварительную нагрузку, освобождают образец и с помощью специальной лупы измеряют диаметр отпечатка, по которому определяют твердость. Диаметр отпечатка d должен укладываться в интервале (0,2 – 0,7)Д. Чтобы не выходить за эти пределы, необходимо изменять нагрузку. Испытания материалов с использованием шариков различной величины следует проводить при постоянном отношении F/Д2. Стандартными условиями испытаний являются: нагрузка 29420 Н (29420\*0,102 = 3000кг) и длительность нагружения 10 – 15сек.



**Рис. 9. Схема пресса. Бринелля**

Как показали исследования между пределом прочности металлов при растяжении σВ и твёрдости HB существует зависимость:

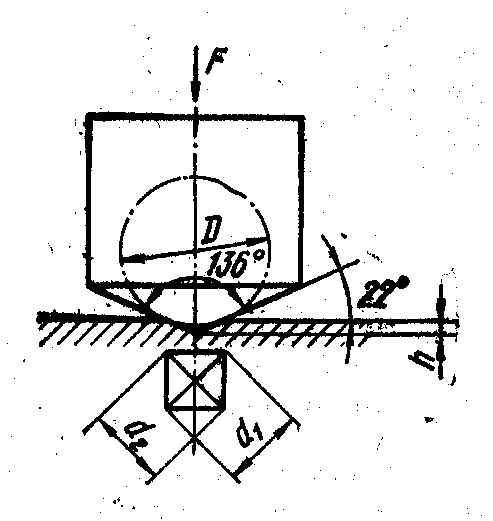
1. Для катаной и кованой стали σВ = 0,36\*HB;
2. Для литой стали σВ = (0,3 – 0,4)\*HB;
3. Для серого чугуна σВ = 0,1\*HB;

### Следует отметить, что твёрдость испытуемого материала не должна превышать HB 450, поскольку в противном случае деформация шарика не позволяет провести точные измерения.

### Определение твёрдости по Виккерсу осуществляют таким же образом, как и по Бринеллю. Различие заключается в том, что в качестве индентора используют алмазную пирамиду, что позволяет измерять твёрдость как мягких, так и очень твёрдых металлов и сплавов и их поверхностных слоёв. Четырёхгранную пирамиду изготавливают с углом при вершине 136° (рис. 10). Такой же угол образуют касательные, проведённые к шарику (или шаровому отпечатку) при испытаниях по Бринеллю, если d = 0,375Д. Это соотношение находится в интервале, в котором необходимо выполнять испытания твёрдости и по Бринеллю и по Виккерсу. Величины твёрдости до HB 300, определённые по Виккерсу, совпадают с величинами твёрдости, определёнными по Бринеллю.

Твёрдость по Виккерсу HV, как и HB, определяется отношением приложенной нагрузки F к поверхности А образующегося отпечатка и является безразмерной величиной.

**HV = 0,102\*F/А** ,



**Рис. 10. Определение твердости по Виккерсу.**

где F – нагрузка, Н;

А – поверхность отпечатка, мм2.

**А = d2/2\*cos 22° = d2/2\*sin(136°/ 2) = d2/1,854** ,

где d – длина диагоналей.

В результате получаем выражение:

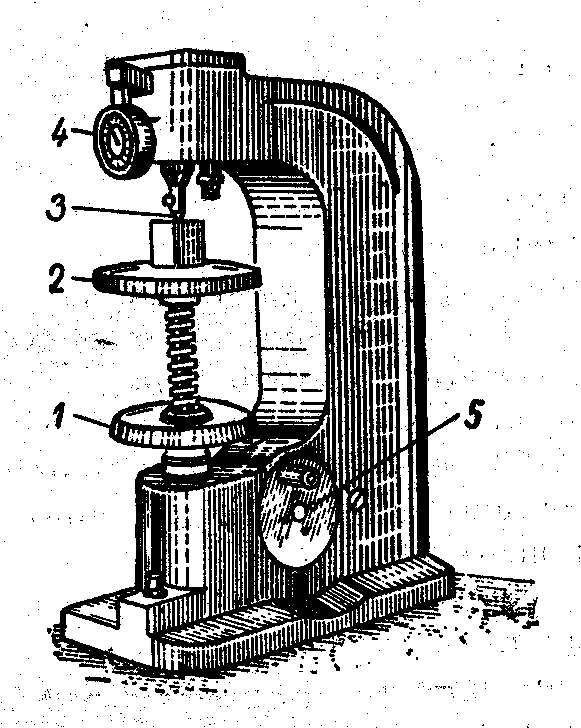
**HV = 0,102\*F\*1,854/d2 = 0,189\*F/d2** ,

где d - среднее значение диагоналей.

При проведении испытаний используют нагрузки 49, 98, 196, 294, 490 и 980 Н. В стандартном случае применяют нагрузку 294 Н и продолжительность её воздействия 10 – 15сек.

Определение твёрдости по Бринеллю и Виккерсу достаточно трудоёмки, т.к. связаны с вычислениями и измерениями. Поэтому метод измерения твёрдости по Роквеллу стал наиболее используемым на практике методом.

По методу Роквелла испытание на твёрдость производится путём вдавливания в образец стального шарика диаметром Д = 1,58 мм или алмазного конуса с углом 120°. Глубина вдавливания t служит мерой твёрдости. Стальной шарик применяется для испытаний мягких металлов (твёрдости < HB 200) при F = 980 Н, алмазный конус - для испытания твёрдых материалов при нагрузке 1470 Н.



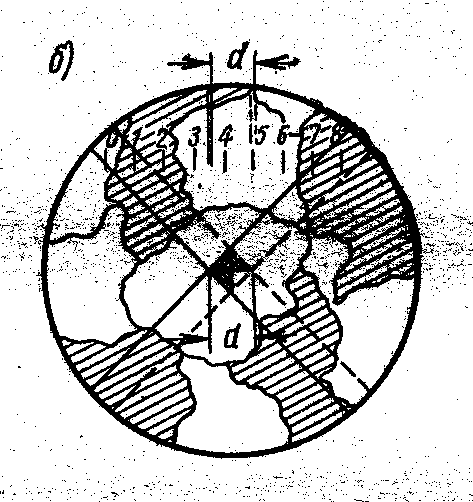
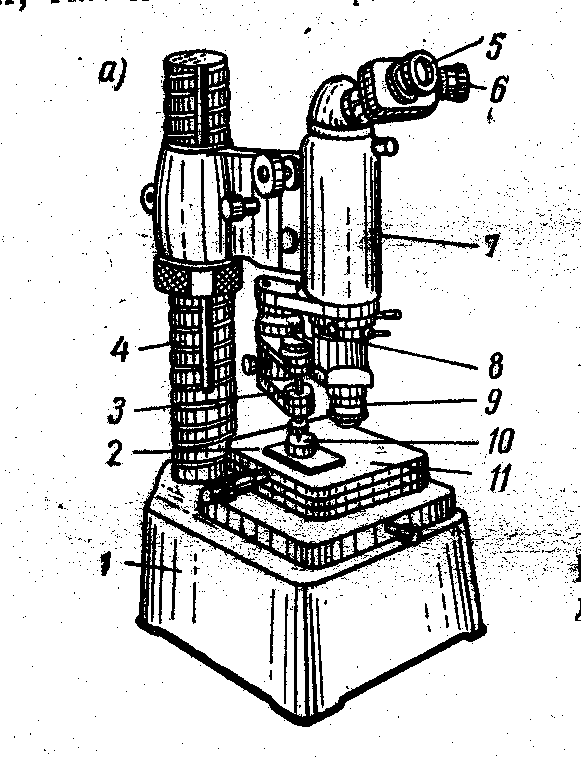
**Рис. 11. Пресс Роквелла.**

Образец помещают на столик 2 прибора Роквелла (рис. 11) и вращением маховичка 1поднимают его до соприкосновения с алмазным конусом 3 (или стальным шариком). Вращение маховичка продолжают до тех пор, пока давление конуса или шарика на образец не станет равным 98 Н (предварительная нагрузка), что указывается малой стрелкой индикатора 4. Далее дают основную нагрузку с помощью рукоятки 5. Вдавливание длится 5 – 6 сек, затем основная нагрузка снимается обратным поворотом рукоятки 5. После этого большая стрелка индикатора показывает величину твердости. Для освобождения образца нужно снять предварительную нагрузку обратным вращением маховичка 1*.*

Циферблат индикатора имеет две шкалы: красную В для испытаний стальным шариком и черную С для испытаний алмазным конусом.

Твёрдость по Роквеллу является величиной условной, характеризующей разность глубин отпечатков. Число твёрдости по Роквеллу обозначается HR с добавлением индекса шкалы, по которой производилось испытание, например, HRB или HRC. Для испытания очень твёрдых материалов применяют алмазный конус при F = 588 Н, а число твёрдости обозначают HRA.

**Испытания на микротвёрдость** производят вдавливанием алмазной пирамиды с углом при вершине 136° под нагрузкой от 0,002 до 2 Н на приборе ПМТ – 3 (рис. 12).



**Рис. 12. Прибор ПМТ – 3 для испытания на твердость.**

Столик 11 и стойка 4 тубуса опираются на станину 1 прибора. Испытуемый предмет 2 устанавливают на столик под объектив 9 и, глядя в окуляр 5, производят наводку на фокус микроскопа и установку нитей с помощью окулярного микрометра 6. Затем столик поворачивают, причем испытуемый предмет попадает под алмазную пирамиду 10. Далее поворачивают рукоятку 8; при этом алмазная пирамида опускается и вдавливается действием груза 3 в испытуемый предмет в течение 5 – 7 сек. После снятия груза столик поворачивают под тубус микроскопа 7 и измеряют диагональ d (рис. 12, б), совмещая пересечение нитей сначала с правым углом отпечатка (пунктирные линии), а затем с левым (сплошные линии). Отсчет десятых долей миллиметра производят по цифрам, находящимся в поле зрения, а сотых и тысячных – по барабану окулярного микрометра 6.

По этому методу можно определять твёрдость отдельных структурных составляющих сплавов, мелких деталей, металлических нитей, окисных пленок и т.п. По величине диагонали определяют площадь отпечатка и твёрдость по формуле: **Нμ = F/А** [МПа],

где F – нагрузка, Н; А – площадь пирамидального отпечатка, мм2.

Порядок выполнения работы.

1. Получить стальной образец.
2. Измерить твердость образца способом, заданным преподавателем.
3. Сделать вывод об области использования стали с данной твердостью и способах ее обработки.
4. Составить отчет о проделанной работе.

Требования к отчету.

1. Записать цель работы.
2. Используемые приборы и материалы.
3. Начертить схемы всех видов определения твердости.
4. Краткое описание работы.
5. Сделать выводы по работе.

Контрольные вопросы.

1. Что такое твердость?
2. Основные методы испытаний на твердость?
3. Определение твердости по Бринеллю?
4. Определение твердости по Виккерсу?
5. Определение твердости по Роквеллу?
6. Определение микротвердости?

**Лабораторная работа № 4.**

Тема: Изучение макроструктуры сталей и их сварных соединений.

Цель работы: ознакомиться с макроструктурой стали и методами ее изучения. Научиться самостоятельно проводить макроанализ.

Оборудование и материалы: образцы стали с неравномерным распределением серы и фосфора, после сварки и закалки. Фильтровальная бумага, резиновый валик, глянцевая бромо-серебряная фотографическая бумага, спирт, реактивы (5%-й раствор серной кислоты, реактивы Гейна и Стеда), чашки для травления, гипосульфит.

**Пояснение к работе.**

Изучение строения и дефектов металла, сплавов и сварных соединений невооруженным глазом или при небольших увеличениях (до 30 раз) – называется макроанализом, а структура, выявленная этим методом – макроструктурой. От макроструктуры металла зависят технологические и эксплуатационные свойства изделий, поэтому макроанализ широко применяют для контроля сплавов. Макроанализ позволяет выявить структуру стали в литом состоянии, после пластической деформации, ликвационную неоднородность, раковины, пузыри, трещины и т. д.

Существует два способа изучения макроструктуры: исследование изломов и макроанализ.

Исследование макроструктуры на изломах – визуальный (невооружен-ным глазом, с помощью увеличительного стекла и бинокулярного микроскопа).

Анализ излома по форме, виду и способности к отражению света позволяет установить строение и причины хрупкого или вязкого разрушения. Для хрупкого разрушения стали характерен зернистый или кристаллический излом. Вязкое разрушение, которому предшествовала значительная пластическая деформация, имеет матовый или волокнистый излом. Чаще всего в практике встречается смешанный излом: зернистый в одних участках, волокнистый в других.

Макроанализом можно выявить в стали дендритную и зональную ликвацию углерода и вредных примесей – серы, фосфора. При этом макроанализ по макрошлифам дает качественную оценку химической неоднородности в больших сечениях (объемах).

Характер распределения серы в стали выявляют наложением на поверхность макрошлифа фотографической бумаги, смоченной в 5%-м растворе серной кислоты. Сера в стали содержится в виде сульфидов MnS и FeS. На тех участках поверхности, где находятся сульфиды, при взаимодействии с серной кислотой происходит реакция

**MnS(FeS)+H2SO4→Mn(Fe)SO4+H2S.**

# Образовавшийся сероводород вступает в реакцию с бромистым серебром

**H2S+2AgBr→Ag2S+2HBr**

Сернистое серебро имеет коричневую окраску. Поэтому появление на отпечатке коричневых пятен указывает на форму и характер распределения сульфидов в стали.

Макроанализ также позволяет определить химическую неоднородность структуры после термической обработки и сварки.

Обычно после термической обработки определяют ликвацию углерода или глубину закаленного слоя с помощью реактива Гейна, содержащего 85г CuCl2 и 53г NH4Cl на 100 мл воды. При этом в результате объемной реакции поверхность макрошлифа покрывается слоем меди. На участках, обогащенных углеродом и имеющих дефекты (поры, раковины, трещины и т.д.), медь выделяется менее интенсивно и не защищает поверхность от травления хлористым аммонием. Эти участки окрашиваются в темный цвет.

На рис. 13 показана схема макрошлифа закаленного кулака до и после травления. Глубину закаленного слоя (темная кромка) определяют с помощью линейки.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | **Рис. 13. Схема макрошлифа закаленного кулачка:**  **а – до травления;**  **б – после травления** |
| **а)** | **б)** |

Реактивом Гейна выявляют также макроструктуру сварных швов. Около шва выявляется зона термического воздействия в виде темных участков.

Ликвидация фосфора хорошо выявляется реактивом Стеда. Для его приготовления следует растворить 1г хлорной меди, 4г хлористого магния, 1мл концентрированной соляной кислоты в 20мг горячей воды приливанием этилового спирта.

Порядок выполнения работы.

1. Выявление зональной ликвации серы в стали методом снятия контактных отпечатков с макрошлифа:

* поверхность макрошлифа после шлифования шлифовальной бумагой для удаления пыли и грязи протирают ватой, смоченной спиртом;
* фотографическую бумагу смачивают на свету 5%-м водным раствором серной кислоты в течении 5-10 минут;
* мокрую бумагу слегка подсушивают между листами фильтрованной бумаги;
* подсушенную фотобумагу аккуратно накладывают на приготовленный макрошлиф и слегка прижимают непрерывным поглаживанием рукой или резиновым валиком. При этом удаляются пузырьки воздуха и газов, скапливающихся между поверхностью макрошлифа или фотобумаги. Время выдержки фотобумаги на макрошлифе 2-3 мин. Сдвиг фотобумаги по макрошлифу недопустим, т.к. искажается отпечаток;
* снятую фотобумагу промывают под струей воды и кладут на 10-15 мин. в водный раствор гипосульфита (100г на 1л воды) для закрепления полученного отпечатка, потом промывают в воде и сушат. Изучают.

2. Выявление зональной ликвации фосфора в стали:

* поверхность макрошлифа протирают ватой, смоченной в спирте;
* травление производят поливанием макрошлифа раствором Стеда из капельницы до выявления макроструктуры;
* макрошлиф промывают спиртом и просушивают фильтрованной бумагой и изучают (места богатые фосфором, не покрываются медью, а на местах с малым содержанием фосфора медь выделяется).

3. Выявление ликвации углерода (глубины закаленного слоя):

* поверхность макрошлифа протирают ватой, смоченной в спирте;
* макрошлиф погружают шлифовальной поверхностью в реактив Гейна, время выдержки не менее 30с;
* макрошлиф вынимают из реактива и мокрой ватой (или фильтрованной бумагой) удаляют слой меди с поверхности; просушивают и изучают.

4. Составление отчета, анализ полученных результатов.

Требования к отчету.

1. Записать цель работы.
2. Используемые приборы и материалы.
3. Указать назначение макроанализа.
4. Схематически зарисовать и описать изломы
5. Схематически зарисовать и описать макроструктуру выданных макрошлифов.
6. Описать методику выявления структуры и дать заключение о распределении серы и фосфора.
7. Сделать выводы по работе.

Контрольные вопросы.

1. Что называется макроструктурой?
2. Как выявить химическую неоднородность стали?
3. Что такое дендритная и зональная ликвация?
4. Метод выявления зональной ликвации серы?
5. Метод выявления ликвации углерода?

**Лабораторная работа № 5.**

Тема: Изучение микроструктуры сталей и их сварных соединений.

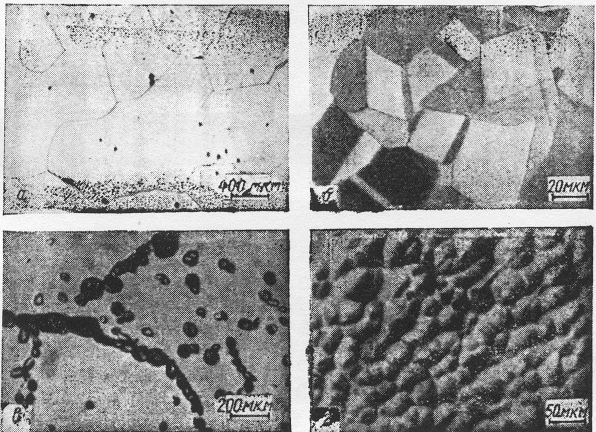
Цель работы: ознакомиться с микроструктурой стали и методами ее изучения. Научиться самостоятельно проводить микроанализ.

Оборудование и материалы: микрошлиф, реактив для травления, бинокулярный микроскоп.

Пояснение к работе.

Для выявления структурных составляющих после шлифовки и полировки необходимо травление, так как только в немногих случаях можно уже на нетравленом шлифе увидеть определенные подробности структуры. Наиболее часто применяют способ травления в растворах; этот способ можно рассматривать как процесс электрохимической коррозии. Если при травлении вытравливаются преимущественно границы зерен, говорят о зернограничном травлении. При прямом освещении границы зерен выявляются в виде темных линий (рис. 14, а). Если воздействие травителя позволяет установить кристаллографическую ориентировку зерен или приводит к неравномерному воздействию на внутризеренные составляющие, говорят о травлении тела зерна. Плоскости сечения различных зерен по-разному отражают падающий свет в зависимости от их рельефа, что проявляется в различных светло-темных тонах окраски зерен (рис. 14, б). Для выявления мест выхода скоплений дислокаций, а также границ субзерен, образованных из скопления дислокаций, применяют специальное избирательное травление, в результате которого образуются ямки травления (рис. 14, в). Структура полимеров также может быть выявлена путем травления врастворах (бензине, бензоле, ксилоле) – рис. 14, г.

Наиболее простым и употребительным способом травления является погружение, при котором поверхность шлифа опускают в сосуд с травителем. Чтобы избежать различия в концентрации раствора,прежде всего вдоль поверхности шлифа, травитель должен постоянно перемещаться относительно поверхности шлифа. Если из исследуемой детали нельзя вырезать образец или плоскость шлифа большая, применяют капельный метод травления. Этот способ из-забыстрого снижения концентрации травителя используют только принебольшой продолжительности травления. Промывку травителем применяют, если образец велик для погружения, а капельный метод травления не дает удовлетворительных результатов, например, при травлении разрезанных слитков. По немного наклонной плоскости шлифа травитель непрерывно стекает от верхнего края до нижнего, пока не будет достигнута необходимая степень травления.



**Рис. 14. Микроструктура после травления:**

**а – зернограничное травление чистого железа;**

**б – травление тела зерен хрома; в – выявление дислокаций в молибдене;**

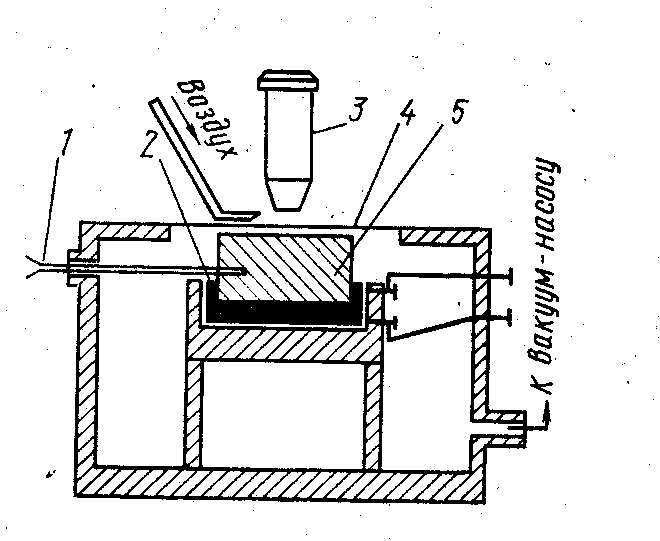
**г – выявление структуры полиэтилена с помощью раствора.**

Для исследования электрохимических процессов, протекающих при травлении в растворах, все шире используют потенциостаты. Потенциостат является электронным регулятором, который в замкнутой измерительной ячейке (рис. 15) регулирует ток между образцом и обратным электродом таким образом, что потенциал образца по отношению к эталонному электроду всегда равен заданному напряжению. Задавая определенный потенциал, величина которого зависит от исследуемого материала и применяемых электролитов, можно, например, достичь травления плоскостей зерен в активной области кривой зависимости плотности тока от потенциала, а границ зерен – в пассивной.

По сравнению с традиционными методами – травлением, погружением и капельным – результаты при потенциостатическом способе более воспроизводимы. Кроме того, можно так направить процесс травления, что в многофазных материалах при заданном анодном потенциале будут растворяться только определенные фазы (фазная изоляция), а изолированный таким образом осадок можно использовать для проведения аналитических исследований при фазовом анализе.

Для изучения процессов, происходящих при термообработке, полезно исследовать структуру, образующуюся при высоких температурах.

Этого можно достичь путем прямых наблюдений с помощью высокотемпературного микроскопа. После шлифовки и полировки образец помещают на высокотемпературный столик микроскопа, в котором смонтирован нагреватель; процесс нагрева производится в вакуумной камере или наполненной защитным газом. Образец нагревают обычно с помощью ленточного нагревателя; этот метод позволяет достичь высокой температуры (рис. 16). Температуру измеряют термопарой, зачеканенной в образец. Плоскопараллельная стеклянная или кварцевая пластина дает возможность непосредственно наблюдать структуру в случае длиннофокусного объектива микроскопа.



**Рис. 16. Схема нагревательного столика высокотемпературного микроскопа:**

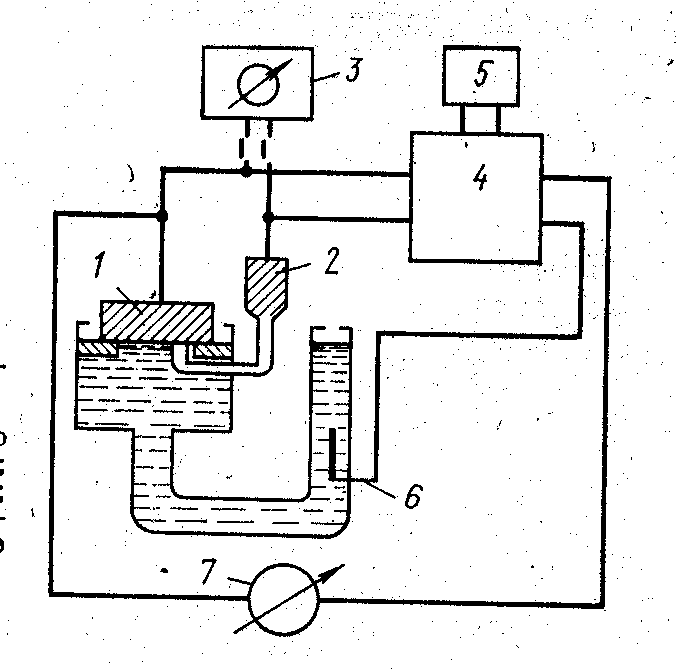
**1 – термопара;**

**2 – ленточный нагреватель;**

**3 – объектив;**

**4 – стеклянная пластина;**

**5 – образец.**



**Рис. 15. Потенциостатическая измерительная ячейка:**

**1 – плоскость шлифа исследуемого образца;**

**2 – каломельный электрод;**

**3 – вольтметр; 4 – потенциостат;**

**5 – задаваемое напряжение;**

**6 – обратный электрод;**

**7 – амперметр.**

Отдельные структурные составляющие можно выявить с помощью теплового травления. При этом возможно возникновение различного поверхностного рельефа. При температурах > 0,5ТS (ТS – температура плавления) некоторые элементы, находящиеся в приграничной зоне (у границ зерен), испаряются вследствие преимущественной поверхностной диффузии, что приводит к образованию местных углублений (борозд), по которым можно непосредственно наблюдать за изменением величины зерна. Другой причиной образования рельефа является различие в коэффициентах термического расширения или удельного объема фаз в гетерогенном сплаве.

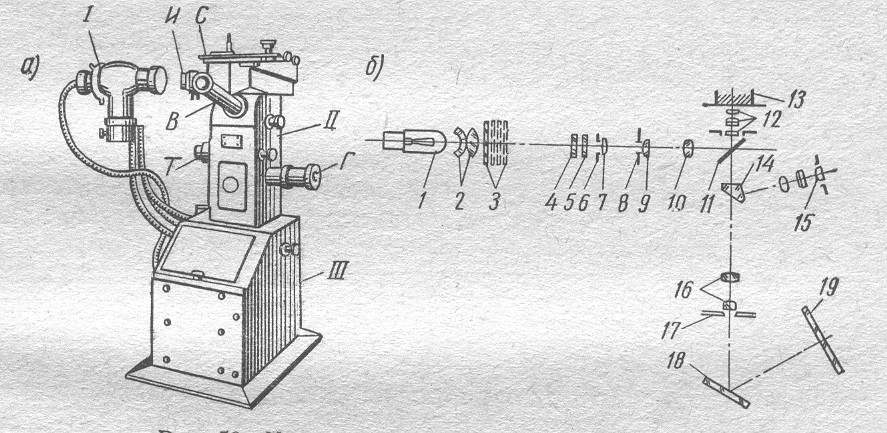
Выявление структуры при высоких температурах целесообразно для исследования процессов рекристаллизации, роста зерен, структурных превращений, а также для изучения процессов выделения и растворения. При оценке результатов исследований нельзя не учитывать, что при этом методе травления еще далеко не все вопросы могут быть достоверно выяснены. Так, неизвестно, происходят ли процессы, видимые на поверхности шлифа, также и внутри образца, т. е. являются ли они представительными для всего объема материала.

При ионном травлении в вакуумной установке поверхность образца, который является катодом, подвергается бомбардировке ионами с высокой энергией. Предполагают, что при этом ионы часть своей энергии отдают ионам, находящимся на поверхности металла в узлах кристаллической решетки. Последние по закону упругого соударения передают некоторое количество энергии соседним ионам. При этом в определенных местах кристаллической решетки происходит преимущественное «выбивание» атомных рядов, определяющее нарушение строения решетки. Удары распространяются прежде всего на плотноупакованные атомные ряды, поэтому из них «выбивается» большее количество атомов, чем из м ее плотно упакованных. В результате на поверхности образца образуется рельеф, который зависит от вида отдельных структурных составляющих и их кристаллографической ориентировки. Этот процесс применяют для исследования гетерогенных материалов и радиоактивных веществ, так как он дает возможность получать чистую поверхность без осадка. Недостатком способа являются относительная сложность и высокие требования к используемому при ионном травлении оборудованию.

По шлифу с помощью металлографического микроскопа выявляют микроструктуру: наличие, количество и форму тех или иных структурных составляющих, загрязненность посторонними включениями. Наличие и размеры пор и неметаллических включений определяют по нетравленным шлифам; для выявления основной структуры шлиф подвергают травлению. Так как металлы непрозрачны, шлифы из них можно изучать только. в отраженном свете с помощью металлографического микроскопа.

На рис. 17, а приведен общий вид вертикального металлографического микроскопа МИМ-6. Микроскоп состоит из трех основных частей: осветительного устройства I, собственно микроскопа II (с иллюминационным тубусом И, визуальным тубусом В, предметным столиком С,механизмом грубой Ги точной Тнаводки на фокус) и нижнего корпуса III с основанием.

На рис. 17, бприведена оптическая схема хода лучей в микроскопе. Осветительное устройство состоит из лампы 1*,* конденсора 2 и откидных светофильтров 3 (зеленого, желтого, синего и оранжевого), любой из которых может быть установлен в световой поток.



**Рис. 17. Металлографический микроскоп МИМ-6:**

**а – общий вид; б – оптическая схема хода лучей.**

Далее свет попадает в иллюминационный тубус, состоящий из поляризатора 4 (устанавливается для наблюдения в поляризованном свете неметаллических включений на шлифах), полуматовой пластинки 5, линз 7, 9 и 10, апертурной 6 и полевой 8 диафрагм. От иллюминационного тубуса пучок параллельных лучей попадает на плоскую стеклянную пластинку 11 и часть его проходит сквозь пластинку и теряется (поглощается стенками микроскопа), а другая часть отражается, проходит через линзы 12 объектива и попадает на поверхность шлифа 13. Лучи, отраженные поверхностью шлифа в направлении объектива, вновь проходят через него, пластинку 11 и отражательной призмой 14 направляются к линзам 15 окуляра, через который и производится визуальное рассмотрение шлифов.

Для фотографирования шлифов призму 14 отодвигают, тогда лучи проходят через фотокулятор 16, фотозатвор 17 и зеркалом 18 отражаются на матовое стекло 19 фотокамеры.

Набор сменных объектов и окуляров к микроскопу МИМ-6 позволяет получить увеличение от х63 до x1425.

Порядок выполнения работы.

1. Получить микрошлифы.
2. Провести травление микрошлифов в растворе.
3. Рассмотреть полученные результаты под микроскопом.
4. Описать полученные результаты и дать заключение о характере микроструктуры стали (размеров зерен, наличие дислокаций, дефектов кристаллического строения).

Требования к отчету.

1. Записать цель работы.
2. Используемые приборы и материалы.
3. Кратко описать теоретическую часть и подробно практический ход работы.
4. Зарисовать структуру микрошлифа до и после травления.
5. Сделать выводы по работе.

Контрольные вопросы.

1. Какие существуют способы выявления структуры?
2. Достоинства и недостатки способов травления капельного и погружением?
3. Назначение потенциостатической измерительной ячейки?
4. Выявление структуры при нагреве до высоких температур?
5. Выявление структуры методом ионной бомбардировки?
6. Устройство и принцип работы микроскопа МИМ-6?

**Лабораторная работа № 6.**

Тема: Определение размера зерна стали и металла зоны термического влияния сварных соединений.

Цель работы: научиться определять размер зерна стали и металла зоны термического влияния (ЗТВ) различными способами.

Оборудование и материалы: микрошлифы и фотоснимки различных структур стали и металла ЗТВ, медицинские весы, интеграционный столик, микроскоп с окуляром, имеющим перекрестие.

Пояснение к работе.

Свойства материалов зависят от количества, размеров, формы и расположения структурных составляющих. При измерении, подсчете, введении определенной классификации изучаемую структуру можно оценивать количественно. Для получения количественных характеристик структуры используют в основном три группы способов: точечный, линейный и плоскостной анализы.

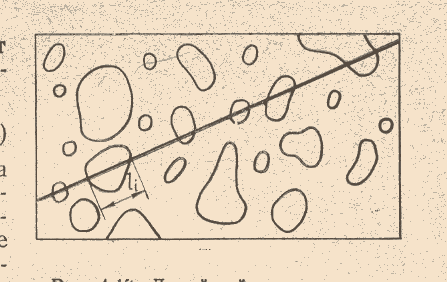
Точечный анализ служит для определения объемных долей любой фазы в многофазных сплавах.

Точечный растр перекрывает структурное поле и определяет число точек Рх,приходящихся на поверхность отдельных фаз. Если Р – общее число точек, то **V = Pх\*100/Р.**

Измерение можно провозить непосредственно под микроскопом с помощью окуляров с сеткой точек, а также на матовом стекле или фотопластинке. Применение точечного анализа предпочтительнее в тех случаях, когда объемная доля определяемой фазы не превышает 15%.

Часто используют линейный анализ, основанный на соотношении Розиваля.

При этом в поле зрения размещают большое количество отрезков прямой линии (секущих) известной длины (рис. 18). Подсчитывают число точек пересечения секущей с границами зерен и фаз, а также измеряют длину отдельных отрезков (длину хорд li) внутри отдельных фаз.



**Рис. 18. Линейный анализ.**

По этим данным можно определить объемную долю и средний размер структурных составляющих. Кроме того, можно подсчитать также величину удельной поверхности зерен или удельной межфазной поверхности. Далее можно получить информацию о распределении элементов структуры по размерам. При определении величины зерна с использованием линейного анализа измеряют длину прямой, которая в плоскости шлифа пересекает определенное число зерен (по крайней мере, 50). Отношение длины линии Lк числу пересечений с зерном nLдает среднюю линейную величину зерна ***L* = L/nL.**

Средняя линейная величина зерна может быть также определена следующим образом: на снимок микроструктуры наносят не менее 5 параллельных линий длиной L(рис. 19). На каждой линии вычисляют количество полностью пересеченных зерен z, включая первое частично пересеченное зерно и не считая последнего. Если р – число линий и В – увеличение, то получим величину зерна ***L***(мкм):

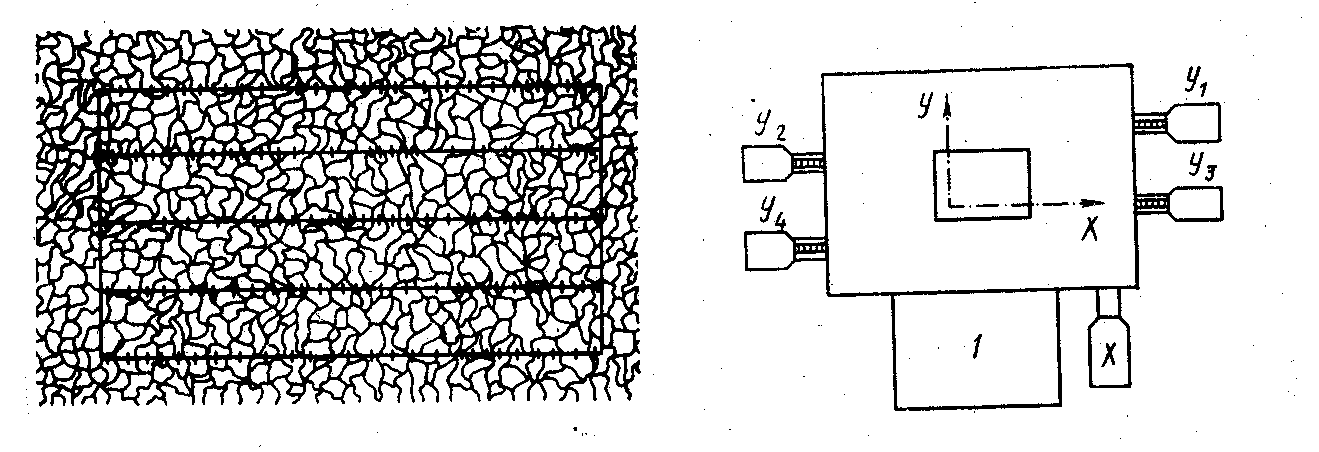
***L* = L\*р\*103/z\*B,**

где Lдолжна быть выражена в миллиметрах.

Если кристаллиты вытянуты в каком-либо преимущественном направлении (имеет место волокнистая структура), измеряют среднюю длину хорды в направлении главной ориентировки. В случае большого различия в величинах зерен целесообразно разделить их но классам и провести статистическую обработку результатов измерения.

Возможно прямое измерение средней величины зерна (рис. 19), а также объемных долей фаз с помощью интеграционного столика. При этом на предметный столик микроскопа с окуляром, имеющим перекрестье, устанавливают специальный столик, имеющий несколько головок; сложное вращение столика производится с помощью специального механизма (рис. 20). Перед началом измерения головки устанавливают на нулевое значение барабана и юстируют пересечение линий окуляра в интересующем исследователя месте образца. При этом пересечение линий совмещают с одной из межфазных границ. Каждая из головок у предназначена для перемещения по соответствующей структурной составляющей.

Вращая соответствующую головку, перемещают столик, пока следующая межфазная граница не попадет на перекрестье. Если, например, составляющая Вграничит со структурной составляющей А, то следует привести в действие шпиндель, соответствующий В*,* причем число включений каждого шпинделя записывают.



**Рис. 19. Определение средней линейной величины зерна**

**Рис. 20. Четырехшпиндельный**

**интеграционный столик:**

**1 – штатив микроскопа**.

После передвижения столика на определенное расстояние получают таким образом длины Lхотдельных структурных составляющих и число зерен (участков) соответствующей структурной составляющей nL.

По полученным данным можно наряду со средней линейной величиной зерна рассчитать объемную долю V:

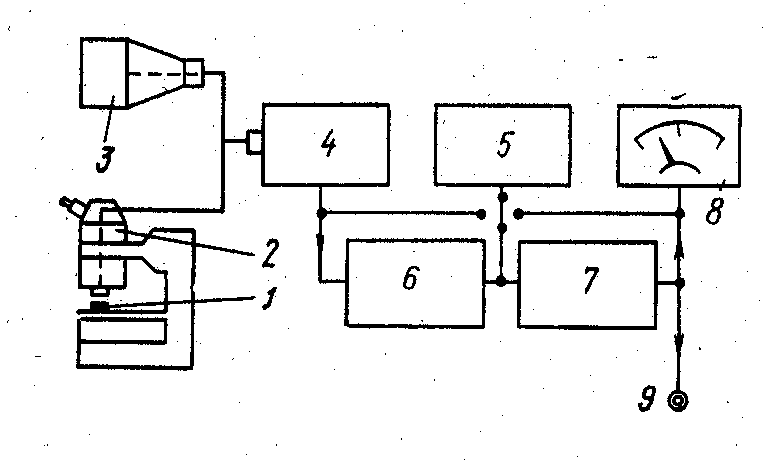
**V = Lx\*100/L.**

Средняя величина зерна ***L***находится в непосредственной связи с удельной поверхностью зерна:

**1/L *=* S\*v/2. (4.7)**

Принцип линейного анализа находит применение также в современных приборах для автоматического анализа изображения (рис. 21). Изображение структуры с фокальной плоскости окуляра микроскопа вводится в телевизионную камеру, сигналы с которой подаются одновременно на детектор и экран контрольного телевизора.

Последний служит для получения изображения микроструктуры, для выбора полей при проведении автоматического микроанализа и для контроля результатов измерений. Импульсы, возникающие при считывании лучом телевизионной развертки с фотокатода телевизионной трубки, преобразуются в детекторе и с помощью компьютера превращаются в выбранные величины измерения, которые поступают на показывающий прибор и в узел выдачи ин- формации. Вместо шлифов можно анализировать микрофотографии (или негативы) с помощью эпидиоскопа.



**Рис. 21. Блок-схема автомати-ческого анализатора изобра-жения Квантимет:**

**1 – образец; 2 – микроскоп;**

**3 – эпидиаскоп;**

**4 – телевизионная камера;**

**5 – контрольный телевизор;**

**6 – детектор; 7 – компьютер;**

**8 – указывающий прибор;**

**9 – узел выдачи информации.**

Дальнейшие возможности для количественной характеристики структуры открываются при анализе площадей. Использование этого метода позволяет наряду с распределением отдельных фаз по объему получить данные о средней площади поперечного сечения зерен. При этом часто используют метод круга (рис. 22). На фотоснимке рисуют круг с известной площадью А и подсчитывают количество зерен, которые полностью находятся внутри круга. Затем считывают число зерен n,пересеченных линией окружности, и умножают на коэффициент 0,67. Этот коэффициент показывает, что 67% площади пересеченных зерен лежит внутри круга. Принимая во внимание масштаб изображения В*,* получают среднюю площадь поперечного сечения зерна ***А*** (мкм2):

***А* = А\*106/(0,67\*n+z)\*В2.**

Среднюю величину площади поперечного сечения зерна ***А*** можно также определить методом планиметрирования. При этом очерчивают определенное количество кристаллитов вдоль внешних границ зерен, определяют площадь очерченной группы зерен А с помощью планиметра и подсчитывают количество кристаллитов, находящихся на измеренной площади. Если В – масштаб увеличения, то

***А* = А\*106/z\*В2.**

Объемные доли фаз или структурных составляющих можно определить способом взвешивания. Для этого из микрофотографии вырезают отдельные структурные составляющие вдоль границ и взвешивают их на аналитических весах. При одинаковом качестве фотобумаги вырезанные массы бумаги, занятые определенными структурными составляющими, относятся как соответствующие объемные доли этих структурных составляющих.

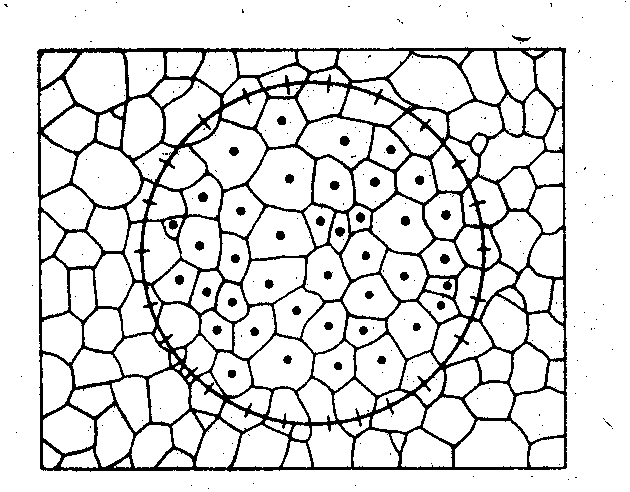
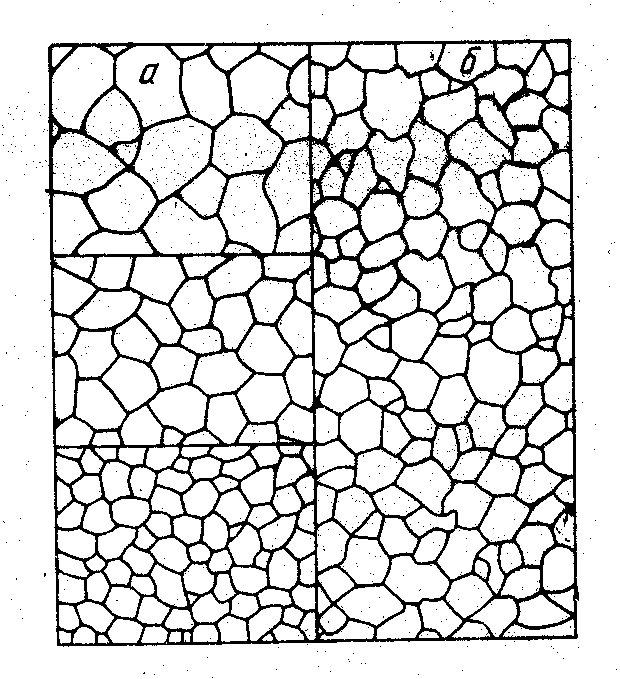


Рис. 22. Определение пло-щади поперечного сечения зерна способом круга.

**Рис. 23. Определение величины зерна с помощью шкалы эталонов структуры:**

**а – изображения эталонов структуры;**

б – структуры реальных образцов.

П

При проведении рядовых исследований определение величины зерна и объемных долей приведенными выше способами трудоемко и во многих случаях не является необходимым. Здесь применяют стандартные шкалы структур, причем микроструктуру образца сравнивают с соответствующим схематическим изображением структуры. Эти шкалы классифицируют определенные структурные параметры, например величину зерна или форму (или количество) включений.

С помощью специальной насадки на микроскоп в поле зрения можно одновременно видеть структуру эталонного и исследуемого образцов (рис. 23). Выполнение подобных исследований (с помощью эталонов) субъективно и требует опытного наблюдателя.

Порядок выполнения работы.

* + - 1. Получить микрошлиф или фотоснимок микрошлифа.
      2. Определить размер зерна на микрошлифе или фотоснимке микрошлифа одним из предложенных способов.

Требования к отчету.

1. Записать цель работы.
2. Используемые приборы и материалы.
3. Кратко описать существующие методики определения размера зерна стали и металла ЗТВ.
4. Зарисовать схему определения размера зерна и оформить полученные результаты.
5. Сделать выводы по работе.

Контрольные вопросы.

1. Способы количественной металлографии?
2. Точечный анализ структуры?
3. Сущность метода линейного анализа?
4. Методы измерения средней величины зерна?
5. Принцип работы автоматического анализатора Квантимет?
6. Метод анализа площади поперечного сечения зерен?
7. Способ взвешивания?
8. Определение величины зерна с помощью шкалы эталонов структуры?

**Лабораторная работа № 7.**

Тема: Влияние режима термической обработки на структуру и твердость стали и ее сварных соединений.

Цель работы: научиться оценивать влияние режима термической обработки на структуру и твердость стали и ее сварных соединений.

Оборудование и материалы: образцы стали и ее сварных соединений с различными видами термообработки, прибор для измерения твердости, фотоснимки макроструктур стали и ее сварных соединений, прошедших различные виды термообработки.

Пояснение к работе.

Термическая (тепловая) обработка состоит в изменении структурно-фазового состояния металлов и сплавов путём нагревания их и последующего охлаждения с заданной скоростью, при этом достигают существенные изменения свойств, при том же химическом составе сплава. Основные факторы воздействия при термической обработке – температура и время, поэтому режим любой термообработки можно представить графиком в координатах t° - τ (рис. 24).

Для изменения свойств сплава необходимо, чтобы в сплаве в результате термической обработки произошли остающиеся изменения, обусловленные в первую очередь фазовыми превращениями.

Все виды термической обработки можно разделить на следующие основные группы: отжиг; нормализация; закалка; отпуск.

Термическая обработка, заключающаяся в нагреве металла, который в результате какой-то предшествующей обработки (холодная пластическая деформация; высокая скорость охлаждения при кристаллизации; быстрое охлаждение или неравномерное приложение нагрузки) имеет неравновесную структуры с высоким уровнем внутренних напряжений, и приводящая его в более устойчивое состояние называется **отжигом**. Существует два вида отжига. Если сплав не имеет фазовых превращений, то любой нагрев сплава с неравновесной структурой приводит его в более равновесное состояние. Такой отжиг называется отжигом I рода (возврат или отдых, рекристаллизационный отжиг или рекристаллизационный отжиг для снятия внутренних напряжений или гомогенизация). Если у сплава есть фазовое превращение, то нагрев сплава с неравновесной структурой выше температуры фазовых превращений с последующим медленным охлаждением приводит его в более равновесное состояние – отжиг II рода или фазовая перекристаллизация (полный, неполный и изотермический отжиг).

При нормализации сталь охлаждается не в печи, как при отжиге, а на воздухе в цехе.

tmax

t, °C

τ, час

Wн

Wо

τн

τв

τо

**Рис. 24. График (режим) простой термической обработки.**

**Параметры: tМАХ – максимальная температура, до которой был нагрет сплав при термической обработке; τН – время нагрева; τВ – время выдержки при tМАХ; τ0 – время охлаждения; WН и W0 – соответственно скорость нагрева и охлаждения.**

Если в сплаве при нагреве происходят фазовые изменения, то полнота обратного (при охлаждении) превращения зависит от скорости охлаждения. Если у сплава обратное превращение полностью не завершилось и при комнатной температуре в результате быстрого охлаждения зафиксируется состояние сплава, характерное для высоких температур, то такая термическая обработка называется **закалкой** (точнее истинной закалкой). Чаще при закалке не удается зафиксировать состояние сплава, устойчивое при высоких температурах, а фиксируется некоторая его стадия структурного превращения, при которой в сплаве не достигнуто ещё равновесное состояние. Различают: простую закалку в одном охладителе, прерывистую закалку, ступенчатую и изотермическую закалку. Закалка бывает объёмной и поверхностной.

Состояние закалённого сплава характеризуется неустойчивостью. Даже без всякого температурного воздействия в сплаве могут происходить процессы, приближающие его к равновесному состоянию. Термическая обработка, заключающаяся в нагреве закалённого сплава, до температуры ниже температуры равновесных фазовых превращений, называется **отпуском**.

Основой для изучения термической обработки стали является диаграмма Fе – С. Приведём общепринятые обозначения критических точек. Нижняя критическая точка А1, лежит на линии РSК и соответствует превращению А ↔ П. Верхняя критическая точка А3 лежит на линии GSE и соответствует началу выпадения или концу растворения Ф в доэвтектоидных сталях или ЦII в заэвтектоидных сталях. Чтобы отличить критическую точку при нагреве от критической точки при охлаждении, рядом с буквой А ставят букву «с», в первом случае и «r» – во втором. Следовательно, критическая точка превращения А→П обозначается Аr1, а П→А обозначается Ас1.

*Отжиг* – фазовая перекристаллизация, заключающаяся в нагреве выше Ас3 с последующим медленным охлаждением. При нагреве выше Ас1, но ниже Ас3 полная перекристаллизация не произойдёт – это неполный отжиг. При отжиге состояние стали, приближается к структурно равновесному; после отжига сталь имеет структуру: П+ Ф; П или П+ Ц.

Возврат (отдых) стали – нагрев до t° = 200 - 400°С для уменьшения или снятия наклёпа. При возврате наблюдается уменьшение искажений в кристаллических решётках кристаллитов и частичное восстановление физико-химических свойств.

*Рекристаллизационный отжиг* (рекристаллизация) стали происходит при t = 500 – 550 °С; отжиг для снятия внутренних σ - при t = 600 - 700°С. Эти виды отжига снимают внутренние σ в отливках от неравномерного охлаждения их частей, а также в заготовках, обработанных давлением (прокаткой, волочением, штамповкой и т.п.). При рекристаллизации из деформированных зёрен вырастают новые кристаллиты, ближе к равновесным; в результате твёрдость снижается, а пластичность и удельная вязкость увеличивается. Для полного снятия внутренних напряжений у стали необходима t ≥ 600°С. Охлаждение после выдержки при заданной t° должно быть достаточно медленным; при ускоренном охлаждении вновь возникает σВН.

*Диффузионный отжиг* применяют в тех случаях, когда в стали наблюдается внутрикристаллическая ликвация. В результате высокого нагрева до t°= 1000 – 1100 °С за счёт диффузии углерода и других примесей в твёрдом состоянии, наряду с самодиффузией железа, происходит выравнивание состава в зёрнах аустенита и сталь становится гомогенной (однородной по составу). При превышении указанной температуры возможен пережог и оплавление зёрен. При пережоге кислород воздуха окисляет железо, проникая по границам кристаллитов, образует окислы и разобщает кристаллиты. Пережог в металле заготовки является окончательным браком. При диффузионном отжиге вследствие перегрева зёрна слишком укрупняются, что следует исправлять последующим полным отжигом (на мелкое зерно).

*Полный отжиг –* связан с фазовой перекристаллизацией и измельчением зерна при температурах Ас3 и Ас1. Назначение его:

1. Устранить дефекты предыдущих операций горячей обработки (литья, ковки).
2. Подготовить структуру к последующим технологическим операциям (обработка резанием, закалка).
3. Измельчение зерна стали и повышение её механических свойств, особенно вязкости.
4. Устранить внутренние напряжения.

Для полного отжига сталь нагревают на 30 - 50°С выше температуры линии GSK и медленно охлаждают. При нагреве выше Ас3 феррито-перлитная структура переходит в аустенитную, а затем при охлаждении А→Фα+П, т.е. происходит полная перекристаллизация. Однако, если до отжига сталь имела крупное зерно, то после полного отжига структура состоит из мелких зерен Ф и П. После отжига избыточный цементит (в заэвтектоидных сталях) и эвтектоитдный цементит имеют форму пластинок, поэтому и перлит называют пластинчатым. При отжиге на пластинчатый перлит заготовку охлаждают вместе с печью, со скоростью не больше 10 - 20°С в час.

Если у заготовки структура не очень крупнозернистая и не имеет характера видманштетовой структуры, то достаточно выполнить более низкий нагрев, всего на 30 - 50°С выше Ас1. Подобная операция называется неполным отжигом и применяется после горячей обработки давлением, когда у заготовок мелкозернистая структура. В процессе неполного отжига произойдёт лишь перекристаллизация перлитной составляющей, но не ферритной.

Отжиг на зернистый перлит применяют обычно для эвтектоидных и заэвтектоидных сталей, с целью повышения пластичности и вязкости стали и уменьшения её твёрдости. Для получения зернистого перлита сталь нагревают несколько выше Ас1 и выдерживают не долго, чтобы цементит растворился в аустените не полностью. Затем сталь охлаждают до t° несколько ниже Аr1 и выдерживают при ней несколько часов. При этом частицы оставшегося цементита служат зародышами кристаллизации для всего выделяющегося цементита, который нарастает округлыми (глобулярными) кристаллитами, рассеянными в феррите.

Существует несколько технологий отжига на зернистый перлит:

1. Циклический способ: нагрев до t =730 – 740 °С с последующим охлаждением до t =690 °С с последующим повторением цикла.
2. Зернистый перлит можно получить путём изотермического отжига – нагрев до t =730 – 740 °С, выдержка, охлаждение до t =680 – 690 °С, длительная выдержка и охлаждение.
3. При высоком отпуске закаленной на мартенсит стали.

Применение изотермического отжига значительно сокращает время термической обработки и повышает производительность процесса. Например, обыкновенный отжиг легированной стали длится 13 – 15 часов, а изотермический всего 4 – 7 часов.

Неполный отжиг связан с фазовой перекристаллизацией лишь при температуре точки Ас1. Он применяется после горячей обработки давлением, когда у заготовок мелкозернистая структура. При изотермическом отжиге после нагрева и выдержки сталь быстро охлаждают до t° ниже Аr1 и выдерживают при ней до полного распада аустенита на перлит, после чего охлаждают на воздухе.

*Нормализация* – это операция термической обработки, которая является разновидностью полного отжига. Однако при нормализации сталь охлаждается не в печи, а на воздухе. Нагревание ведётся до полной перекристаллизации (на 30 – 50° выше точки Ас3), в результате сталь приобретает мелкозернистую и однородную структуру. Твёрдость и прочность стали после нормализации выше, чем после отжига.

Структура низкоуглеродистой стали после нормализации феррито-перлитная (как и после отжига), а у средне- и высокоуглеродистой стали – сорбитная; нормализация может заменить для первой – отжиг, а для вторых – закалку с высоким отпуском. Часто нормализацией подготавливают сталь для закалки, а для некоторых марок углеродистых и легированных сталей она является окончательной Т.О.

*Закалка* – нагрев выше Ас3 с последующим быстрым охлаждением. При медленном охлаждении аустенит распадается на Ф + Ц при Аr1. С увеличением W0 превращение происходит при более низких температурах. По мере снижения Аr1 перлит становится все более мелко дисперсным и твёрдым. Если же W0 была так велика и переохлаждение было так значительно, что выделение Ф и Ц не произошло, то и распад твердого раствора не происходит, а аустенит превращается в мартенсит – пересыщенный твердый раствор углерода в α - Fe. Не полная закалка – термическая операция, при которой нагрев проводят до температуры, лежащей выше Ас1, но ниже Ас3 и в структуре стали сохраняется доэвтектоидный феррит (заэвтектоидный цементит).

*Отпуск* – нагрев закаленной стали ниже Ас1.

Порядок выполнения работы.

1. Получить образцы сварных соединений до и после термообработки и записать вид их термообработки.
2. Измерить твердость образцов, сопоставить результаты определения твердости со структурой стали, прошедшей аналогичный вид термообработки.
3. Сделать выводы о влиянии термообработки на структуру и твердость данной стали.
4. Составить отчет о проделанной работе.

Требования к отчету.

1. Записать цель работы.
2. Используемые приборы и материалы.
3. Начертить графики основных режимов термообработки и соответствующую твердость сварных соединений.
4. Оценить влияние режима термической обработки на структуру и твердость стали и ее сварных соединений.

Контрольные вопросы.

1. Что такое термообработка?
2. Для чего она применяется?
3. Какие существуют виды термообработки?
4. Влияние режима термической обработки на структуру стали и ее сварных соединений?
5. Влияние режима термической обработки на твердость стали и ее сварных соединений?

**Лабораторная работа № 8.**

Тема: Изучение микроструктуры металла сварных соединений высоколегированных сталей.

Цель работы: провести микроанализ сварных соединений из высоколегированных сталей.

Оборудование и материалы: бинокулярный металлографический микроскоп, микрошлифы сварных соединений сталей (08Х18Н10Т, 12Х18Н9, 12Х18Н9Т, 10ГН2МФА, 15Х18Н10Т).

**Пояснение к работе.**

Разрушение металлов под действием окружающей среды называется коррозией. Различают коррозию химическую и электрохимическую. Химическая коррозия протекает при воздействии на металл газов и неэлектролитов, а электрохимическая коррозия под воздействием электролитов: кислот, щелочей и солей, сюда также относятся атмосферная и почвенная коррозия. Кроме того, существует еще коррозия под напряжением, которая возникает при одновременном действии коррозионной среды и напряжений растяжения.

Стали, устойчивые против химической коррозии при высоких температурах (~550 0С), называют окалиностойкими. Стали, устойчивые против электрохимической коррозии, называют нержавеющими.

Повысить уровень стали против коррозии можно легированием ее такими элементами, которые образуют на поверхности стали защитные пленки, прочно связанные с основным металлом и нарушающие контакт металла с окружающей средой. Кроме того, высокую устойчивость против электрохимической коррозии сталь приобретает, если имеет однофазную структуру: наличие нескольких фаз с разным электродным потенциалом способствует образованию микрогальванопар.

Основным легирующим элементом окалиностойких и нержавеющих сталей является хром. На рис. 25 показано изменение потенциала железо-хромистых сталей с увеличением содержания хрома. Стали, содержащие меньше 12 % хрома, имеют низкий потенциал и сильно подвержены коррозии. Стали, в которых хрома свыше 12 – 14 %, обладают положительным потенциалом и высокой стойкостью против коррозии. Существуют две основные группы нержавеющих сталей: хромистые и хромоникелевые. Хромистые стали 12Х17, 15Х28 относятся к сталям ферритного класса. Стали 30Х13, 40Х13 относятся к мартенситному классу и имеют более высокую прочность, чем стали ферритного класса, но меньшую коррозионную стойкость.

Лучшим сочетанием прочности и коррозионной стойкости обладают аустенитные хромоникелевые стали. Нержавеющие аустенитные стали с 15 % хрома и 9 % никеля получили широкое промышленное применение. Типичным представителем является сталь 12Х18Н9. Сталь в отожженном состоянии имеет

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Потенциал, В | 0,2  0  -0,4  -0,6  -0,8 |  | | | | | |
|  |  | 4 | 8 | 12 | 16 | Cr,% |

**Рис. 25. Изменение потенциала Fe-Cr сталей**.

структуру аустенит и карбиды Ме23С6. Сталь подвергается закалке с температуры 1050-1150 0С в воде. При таком высоком нагреве происходит растворение карбидов в аустените, а быстрое охлаждение фиксирует структуру аустенита.

Нержавеющие стали подвержены интеркристаллитной коррозии, т.е. коррозионному разрушению по границам зерен.

В закаленной стали 12Х18Н9 это явление проявляется при нагреве в интервале температур 500-700 0С. При этих температурах из твердого раствора по границам зерен выделяются карбиды хрома Ме23С6,Ме7С3. В результате происходит охрупчивание стали и уменьшается содержание хрома (меньше 12 %) в пограничных областях. Обеднение твердого раствора хромом резко снижает стойкость против коррозии. Кроме того, появление второй фазы – карбидов приводит к образованию микрогальванопар, что усиливает электрохими-ческую коррозию. Сталь, пораженная интеркристаллитной коррозией, теряет металлический звук и при изгибе легко разрушается по границам зерен.

Склонность к интеркристаллитной коррозии устраняется следующими способами: уменьшением содержания углерода до 0,04% и менее; введением в сталь сильных карбидообразующих элементов титана и ниобия. Эти элементы в процессе кристаллизации связывают углерод в тугоплавкие карбиды (ТiC,NbC), которые не растворяются в аустените при нагреве для закалки, поэтому исключается возможность образования карбидов хрома и уменьшение его концентраций в аустените. Поэтому сталь 12Х18Н9Т почти не подвержена интеркристаллитной коррозии.

Порядок выполнения работы.

1. Для выполнения работы студенту предоставляется микроскоп и набор микрошлифов нержавеющих сталей (08Х18Н10Т, 12Х18Н9, 12Х18Н9Т, 10ГН2МФА, 15Х18Н10Т).
2. Просмотреть микрошлифы под микроскопом и зарисовать микроструктуры с указанием структурных составляющих.
3. На основании проведенного микроисследования сделать вывод о влиянии титана на интеркристаллитную коррозию.

Требования к отчету.

* 1. Записать цель работы.
  2. Используемые приборы и материалы.
  3. Краткое описание теоретической части.
  4. Зарисовать микроструктуры и указать структурные составляющие.

Контрольные вопросы.

1. Каково минимальное содержание хрома в стали необходимо для того, чтобы она стала нержавеющей?
2. Почему склонность к интеркристаллитной коррозии стали 12Х18Н9Т меньше, чем у стали 12Х18Н9?
3. Как должна изменяться твердость аустенитной стали при закалке?
4. Какими свойствами наделяется сталь если в нее добавить (медь, титан, ниобий, вольфрам, молибден, азот, никель, алюминий)?

**Литература**

1. Гуляев А.П. Материаловедение. – М.: Металлургия, 1986. – 542с.
2. Металлография железа. Справочник. Пер. с нем. / Лямбер Н, Греди Т., Харбакен Л. И др. – М.: Металлургия, 1985. – 248с.
3. Фазовые превращения и изменения свойств сталей при сварке. – Атлас / Шоршоров М.Х., Белов В.В. – М.: Наука, 1972. – 219с.
4. Никифоров В.Н. Технология металлов и конструкционные материалы. – М.: Высшая школа, 1968. – 360с.
5. Лившиц Л.С. Материаловедение для сварщиков (сварка сталей). – М.: Машиностроение, 1979. – 253с.
6. Испытание материалов. Справочник. Пер. с нем. / под ред. Х. Блюменауэра. – М.: Металлургия, 1979. – 448с.
7. Научные основы материаловедения . / Под ред. Б.Н. Арзомасова. Учебник. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 1994. – 366с.
8. Лихтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1990. – 405с.
9. Материаловедение и технология металлов / Под ред. Г.П. Фенисова. – М.: Высшая школа, 1995. – 385с.
10. Лахтин Ю.М. Материаловедение и термическая обработка. – М.:. Машиностроение, 1993. – 410с.

Учебное издание

Полетаев Юрий Вениаминович

Щепкин Виктор Викторович

Полетаев Валерий Юрьевич

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Материалы и их поведение при сварке»

Редактор

Темплан 2020г. ЛР №

Подписано в печать Формат 60х84 1/16

Бумага офисная. Печать оперативная

Печ. л. 38 Уч. – изд. л.

Тираж 100. Заказ №

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет»

Редакционно-издательский отдел ДГТУ

Типография ДГТУ