

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ЛИПЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра физического металловедения

Т.В. Редичкина

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Методические указания к лабораторным работам для студентов специальностей

22.03.02 Металлургия «Металловедение и термическая обработка металлов»,

22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

ЛИПЕЦК 2009

УДК 669.017(07)

Редичкина, Т.В. Металловедение цветных металлов: методические указания к лабораторным работам для студентов специальностей 150105 «Металловедение и термическая обработка металлов», 150702 «Физика металлов»/ Т.В. Редичкина. – Липецк: ЛГТУ, 2009. -

Лабораторная работа №1
«Рекристаллизация цветных металлов»

Цель работы:

1. Изучить влияние температуры нагрева на структуру и свойства (твердость) холоднодеформированного металла.
2. Изучить влияние степени холодной пластической деформации на величину рекристаллизованного зерна.

Структурное состояние пластически деформированного металла термодинамически неустойчиво, поэтому при нагреве такого металла в нем будут протекать процессы в направлении уменьшения внутренней энергии системы, при этом уменьшаются остаточные напряжения, структура металла изменяется.

К восстановительным процессам относят возврат и рекристаллизацию. Первая стадия возврата – отдых – получает развитие при невысоких температурах нагрева. При отдыхе происходит уменьшение количества вакансий, понижение плотности дислокаций, частичное снятие напряжений. Вторая стадия возврата – полигонизация – наблюдается при дальнейшем повышении температуры. Полигонизация происходит в результате скольжения и переползания дислокаций, вследствие чего дислокации одного знака образуют «стенки», разделяющие зерна на полигоны(субзерна). В полигонизованном состоянии металл обладает меньшей энергией по сравнению с деформированным, поэтому образование полигонов является энергетически выгодным процессом. При возврате заметных изменений в микроструктуре не наблюдается, зерна по-прежнему вытянуты. При этом твердость и прочность несколько понижаются, а пластичность возрастает(рис. 1, участок 1-2).

Первичная рекристаллизация происходит при нагреве металла выше температуры начала рекристаллизации, величина которой с увеличением степени деформации и времени отжига снижается с затуханием, достигая определенного предела. Эту наиболее низкую температуру начала рекристаллизации металла называют температурным порогом рекристаллизации, который согласно А.А. Бочвару, связан с температурой плавления зависимостью

$$T_{n.p.} = aT_{пл},$$

где $T_{n.p.}$, $T_{пл}$ - абсолютные температуры порога рекристаллизации и плавления, К.

Для технически чистых металлов $a = 0,3 - 0,4$, для металлов очень высокой чистоты $a = 0,25 - 0,3$, для твердых растворов $a = 0,5 - 0,8$.

Первичная рекристаллизация заключается в зарождении и росте новых зерен с неискаженной кристаллической решеткой за счет старых деформированных. Движущей силой первичной рекристаллизации является энергия, аккумулированная в наклепанном металле. Частичная рекристаллизация (рис.1, участок 2-3) характеризуется наличием в металле новых равноосных зерен наряду с вытянутыми. Новые зерна до столкновения друг с другом и до полного исчезновения вытянутых зерен (рис.1, т.3). Изменению структуры соответствует существенное изменение свойств металла (рис.1, участок 2-3): происходит полное снятие наклепа и восстановление первоначальных (до деформации) свойств.

Дальнейший нагрев приводит к росту одних рекристаллизованных зерен за счет других (рис.1, участок 3-4). Такой процесс называют собирательной рекристаллизацией. Укрупнение зерен объясняется стремлением системы к понижению свободной энергии, которое происходит вследствие уменьшения суммарной протяженности границ зерен при их росте.

Основными факторами, определяющими размер зерна рекристаллизованного металла, являются температура, продолжительность выдержки при нагреве и степень деформации. С увеличением температуры и времени выдержки при данной температуре размер зерна возрастает. Исключительно сильно на размер зерна влияет степень деформации (рис.2). Степень деформации, при которой получают крупное зерно после рекристаллизации, называется критической степенью деформации, и для большинства металлов она составляет от 1 до 15 %. Механизм образования крупного зерна при критической деформации качественно отличается от механизма первичной рекристаллизации в закритической области, то есть при более высоких степенях деформации. Увеличение

размера зерна при критической деформации происходит не путем зарождения и роста зародышей, а путем роста исходных зерен вследствие неоднородности их наклепа. При этом слабдеформированные зерна укрупняются за счет более деформированных.

Порядок выполнения работы

При 2-часовой работе студенты по указанию преподавателя выполняют задание №1 или 2, при 4-часовой работе – обе задания.

Задание 1. Исследовать влияние температуры отжига на твердость холоднодеформированной меди.

1. Получить и промаркировать образцы холоднокатаной меди.

2. Измерить толщину деформированных образцов с точностью до 0,1 мм(толщину образцов до деформации сообщает преподаватель) и рассчитать величину относительного обжатия по формуле

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \cdot 100\% ,$$

где h_0 - толщина образца до деформации, мм; h_1 - толщина образца после деформации, мм.

3. Измерить твердость образцов в деформированном состоянии на приборе Роквелла по соответствующей шкале.

4. Провести отжиг при температурах 100-500 °C. Время выдержки 20-30 минут(в зависимости от толщины образца).

5. После охлаждения на воздухе зачистить образцы с двух противоположных сторон на наждачной бумаге и измерить твердость на приборе Роквелла.

6. Результаты измерений занести в таблицу 1 и построить по полученным данным график зависимости твердости от температуры отжига(по оси абсцисс откладываются значения температуры, по оси ординат – значения твердости).

Таблица 1

Влияние температуры нагрева на твердость

холоднодеформированного металла

№ образца	Относительное обжатие ε , %	Твердость в исходном состоянии, HR	Температура нагрева, °C	Время выдержки, мин	Твердость после нагрева, HR
-----------	---	------------------------------------	-------------------------	---------------------	-----------------------------

7. Определить по построенному графику температуру начала первичной рекристаллизации и сопоставить ее значение с температурой вычисленной по зависимости А.А. Бочвара.

8. Просмотреть коллекцию образцов после рекристаллизационного отжига и зарисовать структуру.

Задание 2. Исследовать влияние степени холодной пластической деформации алюминия на размер рекристаллизованного зерна.

1. Получить и промаркировать плоские образцы для испытаний на растяжение. Отметить рисками начальную расчетную длину образца l_0 .

2. Установить образцы в испытательную машину и продеформировать их на 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 20 %. Конечную расчетную длину образца l_{K_i} , соответствующую заданной величине относительного удлинения δ_i , определить по формуле

$$l_{K_i} = l_0 \left(1 + \frac{\delta_i}{100}\right)$$

3. Провести отжиг образцов при заданной температуре в течение 30 мин.

4. Травлением образцов выявить их зеренную структуру. Схематически зарисовать структуру в порядке повышения степени деформации.

5. определить величину зерна в образце с определенной степенью деформации. Для этого измерить диаметры сечений 15-20 зерен вдоль направления растяжения и вычислить среднее арифметическое значение.

6. Результаты измерений занести в таблицу 2 и построить по полученным данным график зависимости размера зерна от степени деформации.

Таблица 2

Влияние степени холодной пластической деформации на размер зерна, полученного при последующем отжиге

№ образца	Относительное удлинение δ , %	Конечная расчетная длина образца l_K , мм	Температура нагрева, °С	Время выдержки, мин	Размер зерна, мм
-----------	--------------------------------------	---	-------------------------	---------------------	------------------

7. Определить по построенному графику величину критической степени деформации.

Форма отчета

1. Краткое описание сущности процесса рекристаллизации.
2. описание методики выполнения работы.
3. Таблицы 1 и 2 с результатами измерений. Графики соответствующих зависимостей.
4. Зарисовки структур с описанием их характерных особенностей (форма, размер и взаимное расположение деформированных и рекристаллизованных зерен).
5. Выводы по результатам работы.

Контрольные вопросы

1. Физические процессы, протекающие на стадии отдыха.
2. Механизм полигонизации. Изменение структуры и свойств при полигонизации.
3. Первичная и собирательная рекристаллизация. Механизм этих процессов и влияние каждого из них на изменение структуры и свойств металла.
4. Кинетика первичной и собирательной рекристаллизации.
5. Вторичная рекристаллизация. Ее механизм и кинетика.
6. Температура начала рекристаллизации. Факторы, влияющие на нее.
7. Что такое критическая степень деформации? Механизм роста зерен при критической деформации.

8. Факторы, влияющие на размер рекристаллизованного зерна. Провести соответствующие зависимости и объяснить их.

9. Как изменяется структура при отдыхе, полигонизации и рекристаллизации?

10. Как изменяется твердость и пластичность при нагреве холоднодеформированного металла?

11. Какова плотность дислокаций в холоднодеформированном металле и после рекристаллизации?

12. Холодная и горячая пластическая деформация. Что общего и в чем различие этих видов деформация?

Лабораторная работа №2

«Микроструктура и термическая обработка сплавов на основе меди»

Цель работы:

1. Изучить микроструктуру бронз и латуней. Установить связь между структурой и свойствами.

2. Изучить влияние закалки и старения на структуру и свойства бериллиевой бронзы.

Латуни – это сплавы меди с цинком. Из медных сплавов латуни получили наиболее широкое распространение благодаря сочетанию высоких механических и технологических свойств. Структура и свойства латуней определяются диаграммой состояния Cu-Zn(рис.3). С увеличением содержания цинка возрастает прочность и пластичность сплава. Относительное удлинение достигает максимума при увеличении содержания цинка до 30-32 %, а затем резко уменьшается, особенно при появлении β -фазы. Предел прочности возрастает до 45-47 % Zn, но как только β -фаза полностью сменяет α -фазу, он резко снижается.

Стабильная при высоких температурах β -фаза пластична, а образовавшаяся из нее при охлаждении β' -фаза с упорядоченной структурой, наоборот.

Хрупка. Поэтому пластичность β -латуней с β' -структурой при комнатной температуре очень мала. В силу отмеченных обстоятельств в промышленном масштабе применяются лишь α - и $(\alpha+\beta)$ -латуни. Однако β -латуни представляют интерес как основа сплавов с памятью формы, материалов с высокими упругими свойствами.

Микроструктура α -латуней после деформации и отжига полиэдрическая с большим количеством двойников. Структура двухфазных латуней представлена светлыми кристаллами α -фазы и темными кристаллами β -фазы, которая травится сильнее, чем α -фаза из-за большего содержания в ней цинка.

Бронзы – это сплавы меди с оловом, алюминием, свинцом, бериллием и другими элементами (кроме цинка). В зависимости от введенного в медный сплав элемента бронзы называют оловянистыми, алюминиевыми, свинцовистыми, бериллиевыми и т.д.

Оловянистые бронзы обладают высокими антифрикционными и механическими свойствами. Их структура определяется диаграммой состояния Cu-Sn (рис. 4).

Сплавы этой системы характеризует склонность к неравновесной кристаллизации. Неравновесная β -фаза при обычных условиях охлаждения появляется при концентрации 8 % Sn вместо 13,5 % по диаграмме состояния. При последующем охлаждении она испытывает эвтектоидный распад $\beta \rightarrow \alpha + \gamma$, который затем сменяется превращением $\gamma \rightarrow \alpha + \delta$. Эвтектоидный распад β - и γ -фаз происходит быстро, и обычно он не фиксируется при комнатной температуре. Эвтектоидное превращение $\delta \rightarrow \alpha + \epsilon$ не реализуется даже при достаточно медленном охлаждении.

Структура литых сплавов значительно отклоняется от равномерного состояния. Уже при содержании олова более 5-8 % в структуре появляется $(\alpha+\delta)$ -эвтектоид, в котором δ -фаза представляет собой твердое и хрупкое электронное соединение $Cu_{31}Sn_8$.

Влияние олова на механические свойства меди аналогично влиянию цинка, но проявляется более резко. Появление δ -фазы в структуре бронз вызывает

резкое снижение пластичности. Поэтому, несмотря на повышение прочности при дальнейшем увеличении содержания олова до 25 %, практическое значение имеют бронзы, содержащие до 12 %Sn.

Структура литых бронз, содержащих менее 5-8 %Sn, представлена α -твердым раствором переменной концентрации. Из-за сильно развитой дендритной ликвации состав зерен в центре обеднен оловом и обогащен им на стыке дендритных ветвей. Структура сплавов, содержащих более 5-8 %Sn, представлена первичными кристаллами α -раствора переменной концентрации и эвтектоидом $\alpha+\delta$.

Особый интерес представляют бериллиевые бронзы, содержащие 2-2,5 %Be. Сплав с 2 % Be, как видно из диаграммы состояния Cu-Be(рис. 5), является дисперсионно твердеющим. После закалки от 800 °С в воде он сохраняет однофазную структуру, хотя растворимость бериллия в меди при комнатной температуре не превышает 0,2 %. В закаленном состоянии бериллиевая бронза с 2 %Be имеет предел прочности $\sigma_B=500$ МПа при относительном удлинении $\delta=30$ %. При искусственном старении при температуре 300-350 °С из пересыщенного твердого раствора выделяются мелкодисперсные частицы фазы CuBe. После старения бронза имеет $\sigma_B=1200$ МПа, $\delta=4$ %.

Бериллиевые бронзы имеют высокую прочность и упругость при одновременной высокой химической стойкости, хорошей свариваемости и обрабатываемости резанием. Они применяются для ответственных деталей приборов – мембран, пружин, пружинящих контактов и т.д.

Методика работы

1. Получить и маркировать образцы из бериллиевой бронзы.
2. После нагрева в печи при 800 °С в течение 10-20 мин закалить образцы в воду. Один образец охладить с печью.
3. Закаленные образцы загрузить в печь для старения. Температура старения 340 °С, время выдержки 15, 30, 45, 60 и 90 мин.

4. Измерить твердость (микротвердость) бериллиевой бронзы в отожженном, закаленном и состаренном состояниях. В случае измерения твердости образцы предварительно зачистить с двух противоположных сторон на наждачной бумаге, при измерении микротвердости – изготовить металлографические шлифы.

5. Результаты измерений занести в таблицу 3 и построить по полученным данным график зависимости твердости (микротвердости) от времени старения. Отметить на графике твердость сплава в отожженном и закаленном состояниях.

Таблица 3

Влияние времени старения на твердость бериллиевой бронзы

№ образца	Твердость после закалки	Температура старения, °С	Время выдержки, мин	Твердость после старения
-----------	-------------------------	--------------------------	---------------------	--------------------------

6. Изготовить металлографические шлифы, изучить и зарисовать микроструктуру образцов бериллиевой бронзы в отожженном, закаленном и состаренном состояниях.

7. Посмотреть шлифы в коллекции, изучить и зарисовать их микроструктуру.

8. Описать структуры, указав характерные особенности структурных составляющих.

9. На диаграммах состояния нанести положения рассмотренных сплавов.

Форма отчета

1. Цель работы.
2. Диаграмма состояния Cu-Zn, Cu-Sn, Cu-Be с краткой характеристикой латуней и бронз.
3. Описание методики выполнения работы.
4. Таблица с результатами измерений. График зависимости твердости от времени старения.

5. Зарисовки микроструктур с описанием их характерных особенностей.
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Какие сплавы называют латунями? Дать им характеристику.
2. Какие сплавы называют бронзами? Дать им характеристику.
3. Как зависят прочность и пластичность латуни от содержания цинка?
Связать изменение свойств латуни со структурой.
4. Как зависят прочность и пластичность оловянистой бронзы от содержания олова?
5. Почему α -латуни деформируют в холодном состоянии, а $(\alpha+\beta)$ -латуни – в горячем состоянии?
6. Почему бронзы с содержанием олова более 5-6 % применяют только в литом состоянии?
7. Какие фазовые превращения происходят при закалке и старении бериллиевой бронзы?
8. Зонное и фазовое старение. Что общего и в чем различие этих процессов?
9. Причины образования модулированной(квазипериодической) структуры при старении бериллиевой бронзы.
10. Основные принципы упрочняющей термической обработки алюминиевой бронзы.