

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВРЕЖДЕННОСТИ МЕДИ В ПРОЦЕССЕ РАВНОКАНАЛЬНОГО УГЛОВОГО ПРЕССОВАНИЯ

Сенникова Л.Ф., Ткаченко В.М., Бурховецкий В.В., Борзенко А.П.

Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина,

г. Донецк, Украина, E-mail: sennikova_lf@ukr.net

Обработка металлов методами интенсивной пластической деформации (ИПД) является одним из наиболее перспективных методов получения материалов с высокими физическими и механическими свойствами. Особое внимание уделяется вопросам формирования прочностных свойств и влияния на эти процессы различных дефектов кристаллического строения, в том числе размера зерна и микропор.

В настоящее время учеными создаются основы для практической разработки методов пластической деформации с целью повышения механических свойств и ресурса долговечности для широкого круга материалов за счет залечивания и уменьшения количества микропор [1].

Прочностные аспекты, связанные с накоплением, развитием и слиянием микронесплошностей, имеют принципиальное значение, как для создания физических основ разрушения твердых тел, так и для разработки практических путей прогнозирования и повышения их долговечности.

Многочисленные исследования по изучению структуры материалов, подвергшихся ИПД, констатируют, что наблюдается сложное сочетание дефектных структур различных уровней – точечные дефекты, дислокации, границы зерен и трехмерные дефекты кристаллической решетки в виде микропор и микротрещин. Однако информация эта довольно противоречива и неоднозначна [2-6].

Предполагается, что накопление больших значений суммарной деформации с малыми разовыми степенями вносит меньше деформационных повреждений, чем в случае применения больших разовых деформаций, что позволяет повысить прочностные свойства материала.

Поэтому, нами была выбрана схема равноканального углового прессования, позволяющая деформировать материал при сдвиговой деформации в дробном режиме ($\epsilon < 1$).

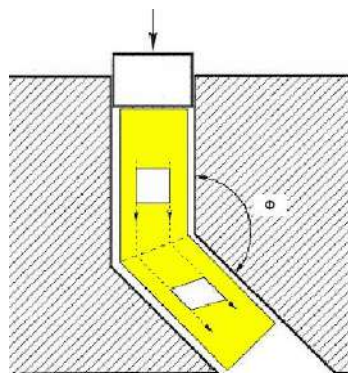


Рисунок 1 – Схема деформационной обработки заготовок методом равноканального углового прессования с одним очагом сдвиговой деформации.

Цель настоящей работы заключалась в изучении эволюции зеренной и дефектной структуры (микропоры) меди в результате деформации равноканальным угловым прессованием в дробном режиме, и влиянию этих структурных характеристик на механические свойства материала.

Результаты работы внесут свой вклад в понимание роли таких дефектов кристаллической решетки, как микропоры в формирование прочностных свойств материалов.

В работе исследовались образцы меди марки М06 диаметром 14 мм в исходном состоянии (после отжига 600°С, 2 часа) и после деформации РКУП с одним очагом сдвиговой деформации. Накопление деформации осуществляли повторением циклов в интервале от 1 до 8. Единичная эквивалентная степень деформации за один цикл прессования составляла $\epsilon = 0.2$.

Схема деформации показана на рисунке 1. Прессование заготовок осуществлялось на лабораторной установке, смонтированной на базе гидравлического пресса усилием 250 тс с использованием деформирующих блоков с рабочими каналами 15 мм. Деформирующий блок представляет собой набор толстостенных поворотных втулок с пересекающимися каналами одинакового диаметра. Втулки размещены в корпусной обойме. Угол пересечения втулок в данном случае $\phi = 160^\circ$.

Дефектную структуру (микропоры, микротрещины), свойства образцов в исходном состоянии и после деформации анализировали методами дюрOMETрических

(твердомер Виккерса HV-5), волюметрических (весы SHIMADZU) исследований, растровой электронной микроскопии (JEOLJSM-6490). Сканирование поверхности поперечного шлифа медных прутков, диаметром 14 мм, проводили в ВЕС–режиме с шагом 1мм. Зеренную структуру исследовали с помощью оптической микроскопии (микроскоп ZEISS, Axiovert 40 MAT).

В исходном отожженном состоянии структура представляет собой рекристаллизованные зерна величиной в среднем $\sim 130\text{мкм}$. Наблюдается структурная неоднородность по величине зерна и наличие множества двойников отжига (рис. 2а). Твердость по Виккерсу отожженного образца соответствовала 630 МПа.

В процессе деформации РКУП происходит измельчение структурных составляющих и структура приобретает мелкозернистое строение (рис.2б). В нашем случае, после 8 проходов деформации РКУП ($\epsilon=1.6$), средняя величина зерна составляет $\sim 40\text{мкм}$, а твердость увеличилась до 1050 МПа.

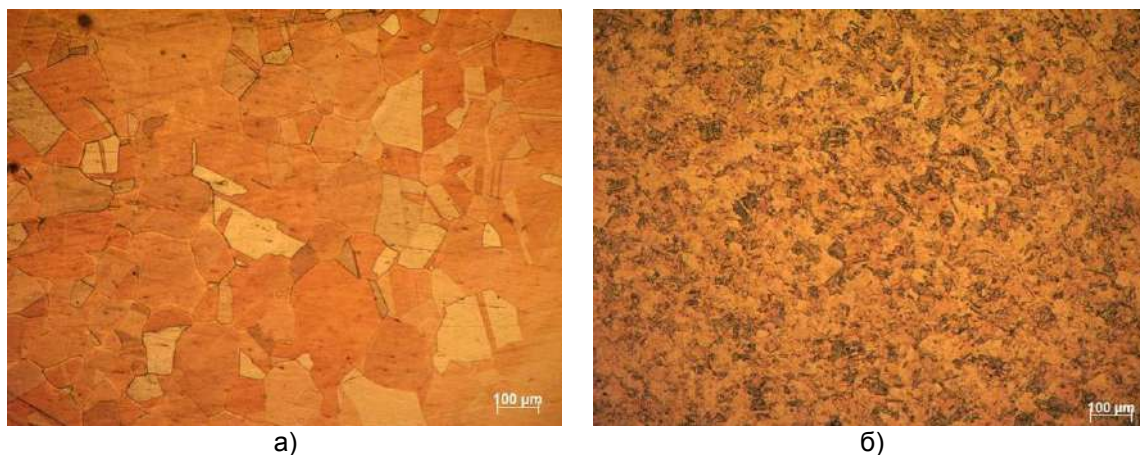


Рисунок 2 – Оптическая микроскопия поперечного сечения прутка меди М0б диаметром 14 мм: а – после отжига 600°C, 2ч.; б – после 8 проходов РКУП ($\epsilon=1.6$)

Необходимо отметить, что в эволюции структуры меди при РКУП с дробным режимом деформации в меньшей степени отмечаются особенности, связанные с активизацией процессов возврата и рекристаллизации, обусловленные большими пластическими деформациями, и фактором внешнего трения. Небольшие единичные интенсивности и соответствующий им малый эффект разогрева образцов при деформации не способствуют процессам динамического возврата и рекристаллизации, а это позволит в процессе РКУП получить СМК – структуру материала [7].

Методом растровой электронной микроскопии получены данные о деформационной пористости меди в результате РКУП и построены гистограммы распределения пор по размерам (рис.3). Показано, что с увеличением степени деформации до $\Sigma\epsilon = 1.6$, количество микропор незначительно меняется по отношению к отожженному состоянию материала. При этом наблюдается измельчение зеренной структуры и рост твердости в несколько раз, а, как известно, мелкозернистая структура и, следовательно, большая протяженность границ зерен, сдерживают образование новых несплошностей и тормозят развитие уже существующих [5]. Подавляющее большинство пор имеют размеры десятых и сотых долей микрона.

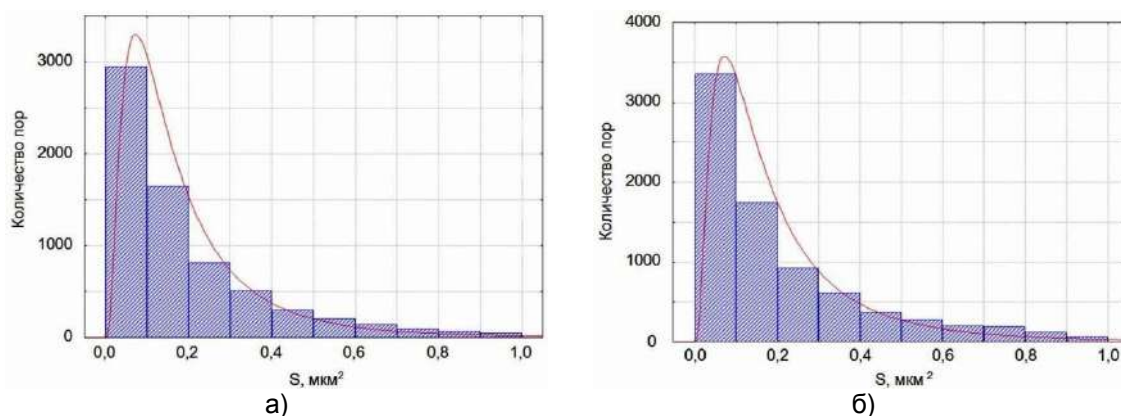


Рисунок 3 – Гистограммы распределения микропор по размерам (площади) для меди М06: а – после отжига 600 °С, 2ч.; б – после 8 проходов РКУП ($\epsilon = 1.6$).

Анализ полученных экспериментальных данных по структуре, упрочнению и деформационной пористости медных образцов в результате РКУП показал, что для получения СМК-структуры, а следовательно, уменьшения деформационной пористости и повышения прочностных свойств материала необходимо увеличивать суммарную деформацию. Для этого будут продолжены исследования и опробованы другие технологические условия и режимы РКУП.

Таким образом, на основании проведенных экспериментов, изучена эволюция зеренной структуры и механических свойств медных образцов под влиянием деформации сдвигом в дробном режиме ($\epsilon < 1$).

Показано измельчение зеренной структуры и увеличение твердости по Виккерсу в процессе накопления деформации РКУП.

Исследована деформационная пористость меди в результате деформации РКУП с эквивалентной разовой степенью $\epsilon=0.2$ и построены гистограммы распределения пор по размерам.

Сделан вывод о необходимости продолжения исследования технологических условий и режимов процесса равноканального углового прессования с целью повышения механических свойств материала за счет залечивания и уменьшения количества микропор.

Список литературы:

1. Баранов Ю.В., Сахвадзе Г.Ж., Столяров В.В., Вестник научно-технического развития 38, № 10, (2010).
2. Тюменцев А.Н., Пинжин Ю.П., Коротаев А.Д. и др., ФММ 86, № 6, 110 (1998).
3. Тюменцев А.Н., Третьяк М.В., Пинжин Ю.П. и др., ФММ 90, № 5, 44 (2000).
4. Тюменцев А.Н., Дитенберг И.А., Пинжин Ю.П., Коротаев А.Д., Валиев Р.З., ФММ 96, № 4, 33 (2003).
5. Хомская И.В., Шорохов Е.В., Зельдович В.И., Хейфец А.Е., Фролова Н.Ю. и др., ФММ 111, №6, 639 (2011).
6. Черемской П.Г., Слезов В.В., Бетехтин В.И., Поры в твердом теле, Энергоатомиздат, Москва (1990).
7. Матросов Н.И., Сенникова Л.Ф., Павловская Е.А., Дугадко А.Б., Медведская Э.А., Шевченко Б.А., Металлофиз. новейшие технол. 25, №10, 1321 (2003).