

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МЕДИ ПРИ РАВНОКАНАЛЬНОМ УГЛОВОМ ПРЕССОВАНИИ

RESEARCH OF THE STRUCTURE OF COPPER AT EQUAL CHANNEL ANGULAR PRESSING

А.Б. Найзабеков, И.Е. Волокитина

РГП «Карагандинский государственный индустриальный университет», Темиртау, Казахстан,
irinka.vav@mail.ru

This work is devoted to the influence of equal channel angular pressing on structure formation of copper. The analysis of the effect of preliminary thermal treatment on the structure that is formed in copper at ECA-pressing. Minimum average grain diameter obtained during pressing of the alloy M1 is 0.6 microns. Determined the temperature the onset of recrystallization of copper and offered combined thermomechanical treatment, allows improving characteristics of copper.

Одной из проблем, стоящей на пути широкого использования субмикроструктурных (СМК) материалов является нестабильность их структуры. В чистых СМК металлах наблюдается относительно низкая температура рекристаллизации [1-2] и существенная неоднородность роста зерна при температурах, близких к температуре рекристаллизации. Быстрый рост зерен при нагреве приводит к потере уникальных физико-механических свойств материала.

В последние годы изучению проблем влияния режимов РКУП и условий нагрева на структуру и свойства металлических материалов посвящено большое количество работ и получен целый ряд интересных экспериментальных результатов. Однако теоретические модели, объясняющие закономерности формирования и последующей эволюции структуры СМК материалов при нагреве и позволяющие провести количественные расчеты параметров этих процессов, развиты еще недостаточно.

Цель настоящей работы состояла в исследовании влияния предварительной термической обработки на структуру, формирующуюся в меди при РКУ-прессовании и последующая термическая обработка.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом исследования была техническая медь марки М1 (99.90% Cu). До РКУ-прессования образцы были подвергнуты предварительной термической обработке: отжигу, закалке и нормализации по стандартному режиму. Образцы квадратного сечения 15×15×70 мм подвергали РКУ-прессованию в матрице с углом стыка каналов 125° по маршруту Вс с кантовкой заготовки на 90° вокруг продольной оси [3].

Проводились три типа экспериментов по трем режимам:

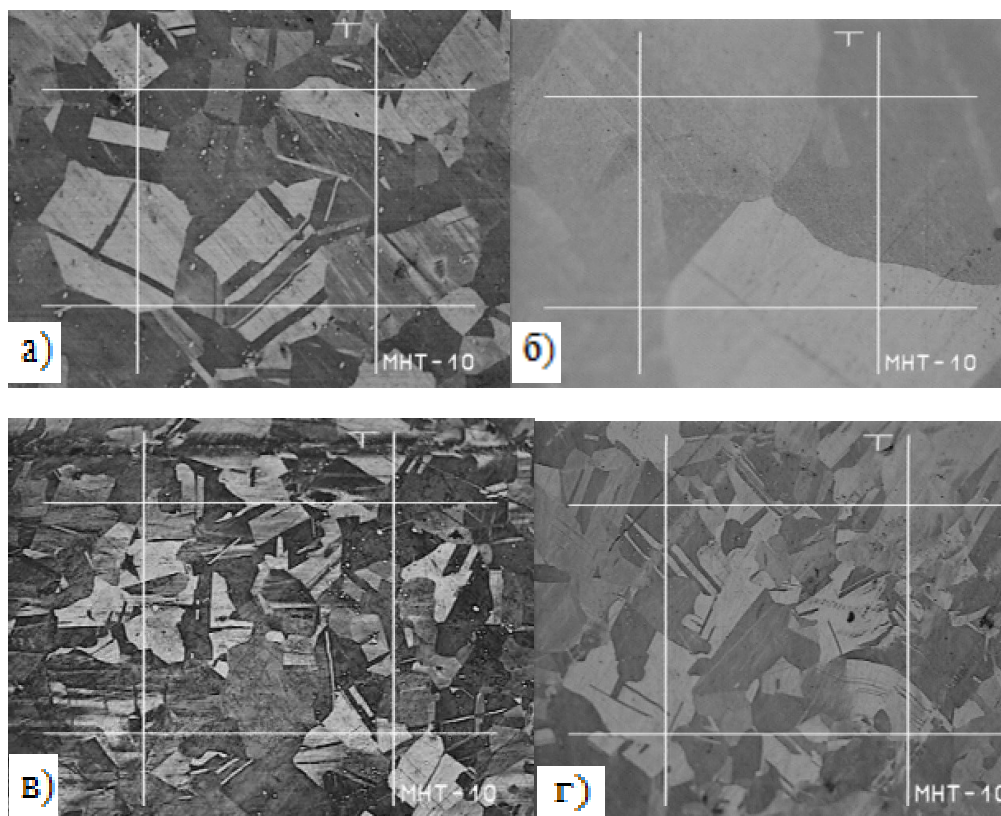
- режим 1 – температура прессования 25° С, число циклов 6;
- режим 2 – температура прессования 90° С, число циклов 6;
- режим 3 – температура прессования 180° С, число циклов 6.

С увеличением количества проходов при РКУ-прессовании ресурс пластичности теряется и дальнейшая деформация, а также использование в промышленности такого металла невозможно, т.к. происходит его разрушение. Для повышения ресурса пластичности такой металл нужно подвергнуть термической обработке. Как известно, нагрев выше температуры начала рекристаллизации приводит к сильному росту зерна и резкому падению прочности меди, поэтому необходимо определить температуру начала рекристаллизации. Рассчитав примерную температуру начала рекристаллизации по принятым формулам [4] проводили лабораторный эксперимент. Образцы после РКУП разрезались на тонкие пластинки толщиной 5 мм и нагревались при температурах в интервале 100 – 270°С с длительностью выдержки 1 час. Охлаждение образцов проводится в воде.

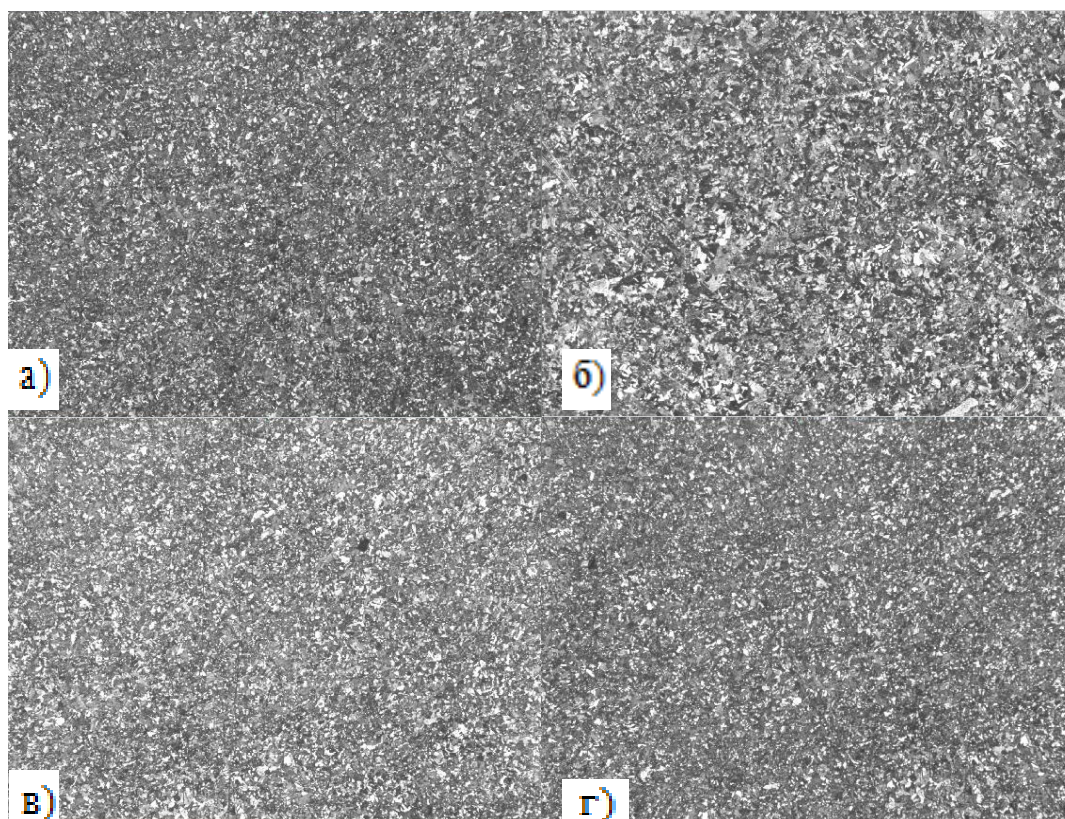
Для изучения структурных изменений образцы разрезали вдоль и поперек направлению вытяжки. Металлографическое исследование проводили на оптическом микроскопе LEICA.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

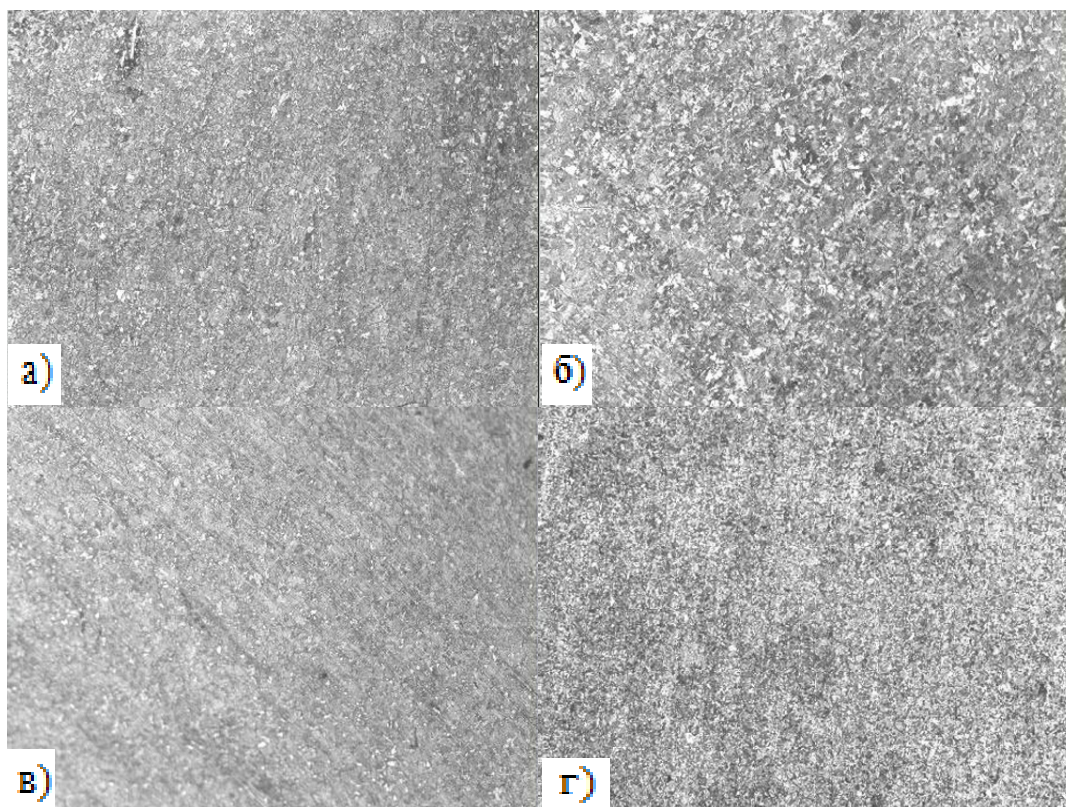
Рассмотрим изменения структуры меди, формирующейся при различных режимах предварительной термической обработки и температурах прессования.



а – исходная структура; б – отжиг; в – нормализация; г – закалка
Рис. 1. Микроструктура меди после предварительной термической обработки, x100

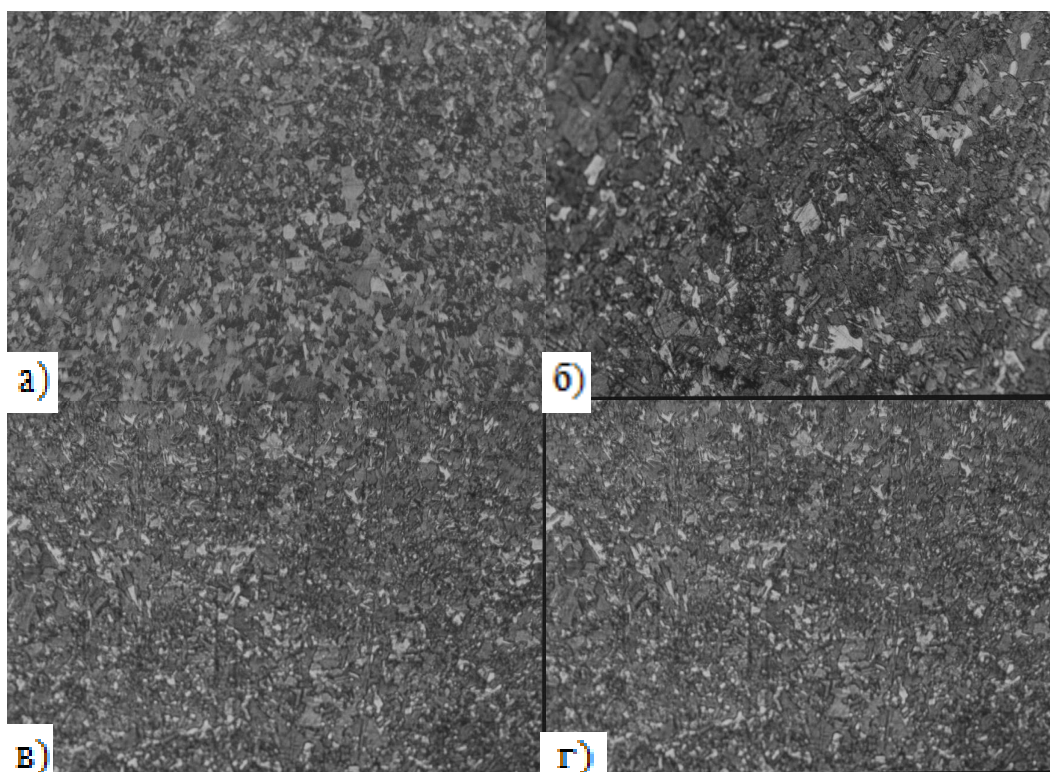


а – исходная структура; б – отжиг; в – нормализация; г – закалка
Рис. 2. Микроструктура меди после 6 циклов РКУ-прессования при температуре 25°C, x100



а – исходная структура; б – отжиг; в – нормализация; г – закалка

Рис. 3. Микроструктура меди после 6 циклов РКУ-прессования при температуре 90°C, x100



а – исходная структура; б – отжиг; в – нормализация; г – закалка

Рис. 4. Микроструктура меди после 6 циклов РКУ-прессования при температуре 180°C, x100

Проведя анализ микроструктуры сплава М1 после РКУ-прессования при комнатной температуре было выявлено, что наиболее интенсивное измельчение зерна меди

наблюдается после закалки, т.к. в результате закалки медь в отличие от латуни становится более мягкой.

Интенсивное измельчение зерна наблюдается после осуществления каждого цикла деформирования. Также было обнаружено, что зеренная структура в поперечном направлении прорабатывается чуть более интенсивно, однако после осуществления 6 циклов прессования проработка структуры практически однородна по всем направлениям образца.

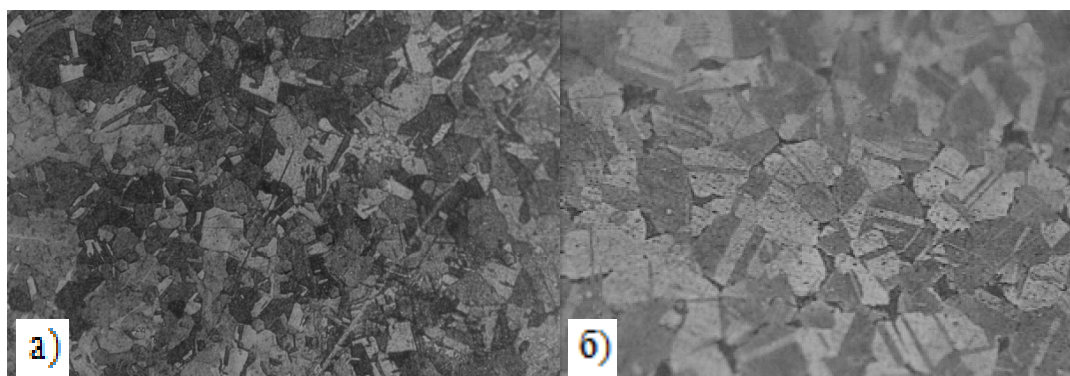
Повышение температуры нагрева заготовки снижает усилие прессования и сопротивление деформации, но увеличивается неравномерность течения металла, которая возрастает с увеличением температурного перепада между заготовкой и матрицей. Последнее приводит к неравномерному распределению сопротивления деформации по поперечному сечению заготовки. Охлаждение периферийных слоев ведет к более быстрому течению внутренних слоев заготовки.

Минимальный средний диаметр зерна, полученный в ходе прессования сплава М1 в равноканальной ступенчатой матрице составляет 0,6 мкм. Такой размер зерна получен после

заковки и РКУП при комнатной температуре и 6 циклах деформирования.

РКУП приводит к существенному повышению прочности по сравнению с исходным состоянием. По сравнению с аналогичными показателями крупнозернистого материала в состоянии поставки, предел прочности повышается почти в 2 раза, предел текучести в 3 раза, однако при этом снижается пластичность почти в 3-4 раза.

Существенным недостатком большинства сильно деформированных металлов и сплавов является почти полное отсутствие у них пластичности. Наблюдаемая при этом значительная хрупкость препятствует дальнейшей пластической обработке металла. Для придания металлу пластических свойств необходимо, как говорят снять напряжения, что достигается отжигом, старением и отпуском металла. Для того, чтобы подобрать необходимую окончательную термическую обработку нужно знать температуру начала рекристаллизации.



а - $T=220^{\circ}\text{C}$; б - $T=270^{\circ}\text{C}$

Рис. 5. Микроструктура сплава меди М1 при нагреве, $\times 1500$

Анализ микроструктуры сплава М1 после нагрева показал, что отжиг медного сплава М1 при температурах $100-160^{\circ}\text{C}$ приходится на температурный интервал возврата, для которого характерны постепенное понижение плотности дислокаций, уменьшение концентрации избыточных дефектов, перераспределение дислокаций приводящее к уменьшению уровня микроискажений.

При температуре отжига 220°C начинается процесс первичной рекристаллизации, т.е. образование новых рекристаллизованных зерен из деформированной матрицы у границ в переходных полосах (рисунок 5а).

При дальнейшем повышении температуры отжига до 270°C в образцах после РКУП бурно протекает собирательная рекристаллизация, что совпадает с наблюдениями

С.С. Горелика [5] при мелком зерне ($d \leq 1 \text{ мкм}$) величина движущей силы собирательной рекристаллизации имеет тот же порядок, что и величина движущей силы первичной рекристаллизации. Структура, представленная на рисунке 5б, имеет полиэдрическую структуру, типичную для всех чистых металлов, с наличием двойников.

Для подтверждения металлографических исследований были проведены механические испытания на определение микротвердости по Виккерсу результаты, которых представлены в виде таблицы 1.

Таблица 1 - Результаты определения микротвердости по Виккерсу для сплава М1, после проведения рекристаллизационного отжига.

Температура отжига, $^{\circ}\text{C}$	Исходная	100	160	220	270
Твердость, H_V	246,1	243,4	239,3	196,8	173,5

Исходя из полученных данных, за температуру начала рекристаллизации была принята температура, после которой наблюдается резкое снижение микротвердости на 49,3 единицы (20%), что совпадает с появлением новых рекристаллизованных зерен (рисунок 5а). Из полученной температуры начала рекристаллизации после закалки и РКУП проводится низкий отпуск на воду при температуре 200⁰С, снимающий внутренние напряжения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Микроструктура медных образцов, подвергнутых РКУ-прессованию, изменялась под действием одновременного влияния двух факторов: предварительной термической обработки и повышения температуры прессования. Минимальный средний диаметр зерна, полученный в ходе прессования сплава М1 составляет 0,6 мкм. Такой размер зерна получен после закалки при 700⁰С и РКУП при комнатной температуре и 6 циклах деформирования. Применение предварительной закалки позволяет получить более мелкозернистую структуру, а для сплава М1 еще и снизить значения твердости на 15%, что помогает снизить усилие прессования на первых проходах с 620 до 510 МПа.

Применение комбинированной термомеханической обработки по схеме «закалка при 700⁰С-РКУП-низкий отпуск при 200⁰С» для сплава М1 позволяет существенно улучшить характеристики меди и увеличивает сопротивляемость возникновению и распространению трещины.

Список использованных источников

1. Нохрин А.В., Макаров И.М., Лопатин Ю.Г. Методика исследования зеренной структуры микрокристаллических сверхпластичных алюминиевых сплавов методом атомно-силовой микроскопии. – «Заводская Лаборатория», №12, 2004 г, с.18-26.
2. Чувильдеев В.Н., Макаров И.М., Смирнова Е.С., Копылов В.И. Лопатин Ю.Г. Исследование кинетики распада твердого раствора в микрокристаллических сплавах системы Al-Mg-Sc-Zr. – Сборник тезисов докладов VI-ого Всероссийского совещания-семинара «Инженерно-физические проблемы новой техники», 2001, с.136.
3. В.Н. Чувильдеев, О.Э. Пирожникова, М.Ю. Грязнов и др. Нано- и микрокристаллические материалы, полученные методами интенсивного пластического деформирования. Учебно-методические материалы по программе повышения квалификации. Нижний Новгород. 2006 г.
4. Лопатин Ю. Г. Эволюция зеренной структуры при деформации и отжиге микрокристаллических материалов, полученных методом равноканально-углового прессования. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Москва. 2010.
5. Горелик С.С Рекристаллизация металлов и сплавов. М: Металлургия, 1967.404 с.