

2. Tarasenko N. V., Butsen A. V. Laser synthesis and modification of composite nanoparticles in liquids / *Quant. Electron.* 2010; 40: P. 986-1003.

3. N. N. Tarasenko, A.V. Butsen, N.V. Tarasenko, S.T. Pashayan. Laser assisted fabrication and modification of metal oxides nanostructures. «Armenia in focus SPIE: Optics-2016», (25-28 July, 2016), Armenia, Yerevan: P. 91.

УДК 621.7

А.В. Волокитин, И.Е. Волокитина
Карагандинский индустриальный университет
Темиртау, Казахстан

ЭВОЛЮЦИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ МЕДНОЙ ПРОВОЛОКИ ПОСЛЕ СКРУЧИВАНИЯ В РАВНОКАНАЛЬНОЙ СТУПЕНЧАТОЙ МАТРИЦЕ И ВОЛОЧЕНИЯ

Аннотация. Исследовано влияние новой технологии обработки медной проволоки на изменение ее микроструктуры. В результате деформирования была получена медная проволока с градиентной структурой. Поверхностный слой измельчен до 500 нм на глубину ≈ 1 мм. Далее размер зерен увеличивается к центральной части проволоки и составляет 4 мкм.

A.V. Volokitin, I.E. Volokitina
Karaganda Industrial University
Temirtau, Kazakhstan

EVOLUTION OF COPPER WIRE MICROSTRUCTURE AFTER TWISTING IN AN EQUAL-CHANNEL STEPPED MATRIX AND DRAWING

Abstract. The influence of a new technology of copper wire processing on the change of its microstructure has been investigated. As a result of deformation a copper wire with a gradient structure was obtained. The surface layer is crushed to 500 nm at a depth of ≈ 1 mm. Further the grain size increases to the central part of the wire and is 4 μm .

При волочении проволоки среднего и большого сечения использование больших обжатий и, следовательно, большого количества циклов деформирования нецелесообразно, так как исходный диаметр проволоки ограничен, а увеличение числа проходов

приводит к уменьшению диаметра проволоки. Поэтому в последние два десятилетия большое внимание исследователей уделяется получению ультрамелкозернистых (УМЗ) структур в металлах и сплавах методами интенсивных (больших) пластических деформаций (ИПД), в связи с возможностями резкого до 2-5 раз повышения в них прочности. На сегодняшний момент к технологиям, наиболее эффективно измельчающим структуру, относятся методы, которые при многоцикловогой обработке реализуют схему простого сдвига [1,2]. Наиболее исследованным и используемым методом является равноканальное угловое прессование (РКУП).

Развитием технологий волочения и РКУП стало их объединение в один комбинированный процесс [3,4]. Данный способ обработки давлением позволил преодолеть два существенных недостатка процесса РКУП, в результате чего стало возможным деформировать заготовки неограниченной длины, а также осуществлять процесс деформирования непрерывно и без образования пресс-остатка.

Ключевым отличием исследуемого в данной работе совмещенного процесса от метода «РКУП-волочение» является то, что в равноканальной ступенчатой матрице за счет ее вращения вокруг оси заготовки происходит скручивание заготовки, что позволяет достигать создать дополнительный уровень деформации во всем поперечном сечении. При попадании заготовки в волочильный инструмент происходит калибровка поперечного сечения за счет прохождения канала фильеры. Равноканальная ступенчатая матрица, которая стоит до волоки, обеспечивает реализацию поперечной и продольной сдвиговых деформаций, что позволяет устранить главный недостаток процесса волочения - низкую пластичность.

В связи с этим использование усовершенствованного метода деформирования, сочетающего в себе схемы кручения, простого сдвига и классического процесса волочения, позволяет реализовать более высокий уровень проработки металла и расширить границы применения традиционных конструкционных материалов. Практическая значимость данной работы заключается в возможности внедрения усовершенствованной технологии в существующие волочильные станы путем добавления одного узла, без существенных изменений в конструкции стана или в технологии деформирования. Эта технология позволяет производить прутки и проволоку из цветных металлов и сплавов и имеет национальное и международное значение, так как улучшает прочностные характеристики за счет накопленной деформации и формирования градиентной микроструктуры.

В качестве образцов была использована медная проволока марки М1 диаметром 6,5 мм в термически обработанном состоянии для получения исходной равноосной структуры.

Суть технологического процесса заключается в деформировании проволоки во вращающейся равноканальной ступенчатой матрице и последующего волочения. Матрица вращается вокруг оси проволоки и тем самым создает напряжение за счет равноканальной угловой протяжки и скручивания в матрице. Вращение матрицы осуществляется в специально разработанном механизме, который устанавливается в линию оборудования волочильного стана в блок с технологической смазкой, что позволяет осуществлять подачу смазки в матрицу и фильеру в блоке волочения. Смазка состоит из мыльной стружки и служит для уменьшения усилий, возникающих при протягивании стержней через рабочие канавки фильеры.

Для реализации совмещенной технологии при деформировании медной проволоки использовали промышленный барабанный волочильный стан В-1/550М. Деформирование проводилось при комнатной температуре с использованием маршрута Вс (вращение проволоки после каждого цикла деформирования осуществлялось на 90°). Количество проходов – 3. Уменьшение диаметра проволоки после каждого цикла деформирования составляло 0,5 мм. Так после 3 проходов деформирования мы получили проволоку диаметром 5,0 мм. Скорость волочения была равна 500 мм/с, при этом скорость вращения равноканальной ступенчатой матрицы была равна 30 об/мин.

Металлографический анализ деформированной медной проволоки сначала был проведен на оптическом микроскопе для наблюдения общего вида измельчения структуры. Исследование на оптическом микроскопе в поперечном сечении показывает градиентную структуру (рис. 1). Поверхностный слой измельчен до 500 нм на глубину ≈ 1 мм. Далее размер зерен увеличивается к центральной части проволоки и составляет 4 мкм. Продольная структура удлинена и параллельна направлению волочения в поверхностном слое и более равнозерниста к центру.

На рис. 2 показаны фотографии микроструктуры, полученные с помощью ПЭМ. Первое изображение получено на расстоянии $\approx 0,2$ мм от поверхности проволоки (поверхностный слой) (рис. 2а). Как видно границы зерен волокнистые и изогнутые, что обычно характерно для большого количества дефектов, средний размер зерен составляет 500 нм. Следующее ПЭМ-изображение было получено на расстоянии ≈ 2 мм от поверхности проволоки (средний слой) (рис. 2б).

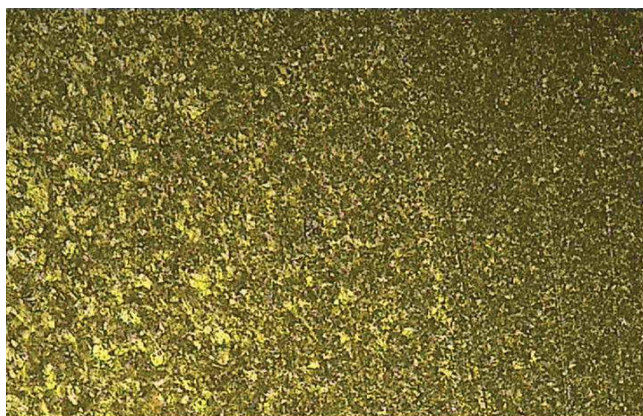
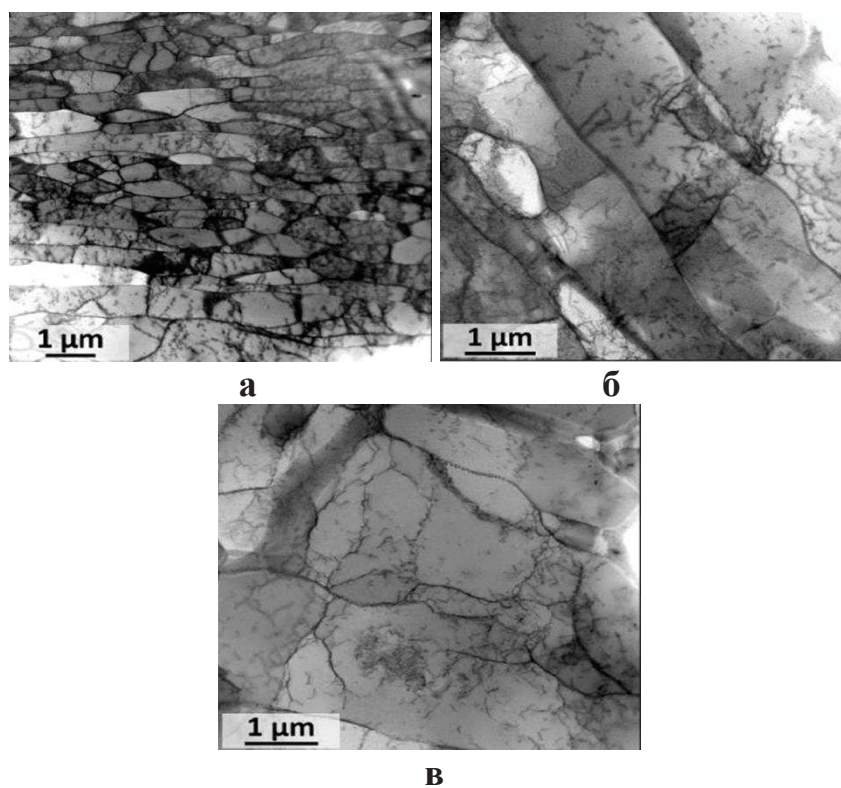


Рис. 1 - Оптическое изображение микроструктуры деформированной медной проволоки (поперечное сечение)



а – поверхностный слой, б – средний слой, в - центральная часть
Рис. 2 - Микроструктура деформированной медной проволоки (поперечное сечение)

Здесь сформирована бимодальная структура, которая состоит из мелких зерен с высокоугловыми границами и больших зерен с развитой субструктурой. Средний размер зерен составляет 2 мкм. Внутри зерен сформирована тонкая структура в виде скоплений дислокаций, и ячеек. Крупные зерна, скорее всего, образовались по механизму бездиффузионной рекристаллизации, так, как если бы произошла динамическая рекристаллизация, зерна не имели бы искажений

кристаллической решетки и не содержали бы дефектов. И последнее изображение было получено из центральной части проволоки (рис. 2в). Структура представляет собой ячеистую дислокационную структуру деформационного происхождения со средним размером зерна 4 мкм. Наблюдаются как крупные зерна с небольшим количеством субграниц, а также зерна, содержащие большое количество субграниц.

Выводы

В работе исследована медная проволока продеформированная по новой технологии, отличительной особенностью которой является совмещение в одном очаге деформации схемы сдвига и схемы растяжения. Практическая значимость данной работы заключается в возможности внедрения усовершенствованной технологии в существующие линии установок путем добавления одного узла, без существенных изменений в конструкции стана или режима технологии. Эта технология позволяет производить прутки и проволоку из цветных металлов и сплавов и имеет национальное и международное значение, так как улучшает прочностные характеристики за счет накопленной деформации и формирования градиентной микроструктуры.

Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (Грант № AP19676903).

Список использованных источников

1. Xu J., Li J., Shan D., Guo B. Microstructural evolution and micro/meso-deformation behavior in pure copper processed by equal-channel angular pressing // Materials Science and Engineering A. 2016. Vol. 664. P. 114-125.
2. Acarer M. Electrical, corrosion, and mechanical properties of aluminum-copper joints produced by explosive welding // Journal of Materials Engineering and Performance. 2012. Vol. 21. P. 2375–2379
3. A. Naizabekov, I. Volokitina, A. Volokitin, E. Panin. Structure and mechanical properties of steel in the process "pressing-drawing. Journal of Materials Engineering and Performance, 2019, Vol. 28, No.1, P. 1762-1771
4. Lezhnev S. N., Volokitina I. E., Volokitin A. V. Evolution of Microstructure and Mechanical Properties of Steel during Pressing–Drawing // Physics of Metals and Metallography. 2017. V. 118. №11. P. 1167–1170.