

М. А. Зорина, М. С. Карабаналов, Е. Д. Степанова

Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

m.a.zorina@urfu.ru

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕКСТУРЫ ПО РАДИУСУ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ МЕДНОЙ ПРОВОЛОКИ В ПРОЦЕССЕ ВОЛОЧЕНИЯ

АННОТАЦИЯ

В данной работе проведено исследование текстурных параметров электротехнической медной проволоки методом дифракции отраженных электронов (ДОЭ). Установлено, что с увеличением коэффициента вытяжки в проволоке формируется сложная комплексная текстура, состоящая из аксиальных и ограниченных текстурных компонент. Причем с ростом степени деформации интенсивность ограниченной текстурной компоненты возрастает. Обнаружено, что текстурные составляющие представляют собой не равномерную смесь по всему радиусу проволоки, а присутствуют в различных областях полуфабриката.

Ключевые слова: электротехническая медь, проволока, волочение, текстура, ДОЭ.

ABSTRACT

In the present work the texture parameters of electrotechnical copper wire have been investigated by means of electron backscatter diffraction (EBSD). It has been defined, that the complex texture is formed in the wire with increasing draw ratio. This texture consists of the limited and axial texture components. The intensity of the limited texture components increases with the degree of deformation. It has been found, that texture components are irregular mixture along the wire radius, and they are located in different areas of semifinished products.

Key words: electrotechnical copper, wire, drawing, texture, EBSD.

В материалах с ГЦК-решеткой основная особенность текстуры, образующейся при волочении, в том, что она состоит из двух основных компонент – $\langle 111 \rangle$ и $\langle 100 \rangle$. Считают, что текстура $\langle 111 \rangle$ более стабильна, чем $\langle 100 \rangle$ [1]. В процессе волочения, наряду с формированием $\langle 111 \rangle$ и $\langle 100 \rangle$ компонент наблюдают компоненту $\langle 112 \rangle$ [2; 3; 4], которая в свою очередь считается метастабильной. Авторы [5] связывают появление в периферийной области компоненты $\langle 112 \rangle$ с действием в этой области трех систем деформации: растяжения, сжатия и сдвига, в отличие от центральной области, где действуют только две системы – сжатия и растяжения.

Неравные сдвиговые напряжения приводят к неоднородному распределению компонентов аксиальной текстуры вдоль радиального направления протянутой проволоки.

Цель – изучить распределение основных текстурных компонент по радиусу электротехнической медной проволоки на стадии грубого волочения.

Материал для исследования – полуфабрикаты из меди марки M001. Проволока диаметром от 6,35 мм до 1,65 мм была получена из медной катанки диаметром 8 мм на стане многократного волочения MSM 85 при скорости волочения на последнем тянущем шкиве 20 м/с. На стадии холодной деформации суммарный коэффициент вытяжки (λ) составил 23,51, накопленное относительное обжатие 97 %.

Текстурный анализ методом ДОЭ/EBSD проводился на двулучевом электронно-ионном микроскопе (системе) ZEISS CrossBeam AURIGA с программно-аппаратным комплексом регистрации и анализа картин ДОЭ – Nordlys HKL Channel 5[®]. Шаг сканирования составлял 0,2 мкм, погрешность определения ориентации кристаллической решетки – $\pm 1^\circ$.

Для анализа качественных изменений основных текстурных компонент по сечению проволоки были построены функции распределения ориентировок (ФРО). Далее при описании картин ФРО все направления и плоскости указаны с учетом привязки к системе внешних координат. Ось текстуры соответствует направлениям параллельным оси деформации, а плоскость текстуры соответствует кристаллографическим плоскостям параллельным тангенциальному направлению в проволоке в месте съемки.

Из анализа интегральных картины ФРО по всему радиусу для образцов проволоки различных диаметров (рис. 1) установлено, что при увеличении коэффициента вытяжки меняется тип текстуры. После первого прохода волочения на диаметре 6,53 мм ($\lambda = 1,5$) формируется аксиальная текстура деформации с образованием компонент $\langle 100 \rangle$ и $\langle 111 \rangle$. В компоненте $\langle 111 \rangle$ прослеживаются отдельные пятна, отвечающие направлениям $[1\bar{2}1]$ и $[\bar{1}\bar{1}2]$, а в компоненте $\langle 100 \rangle$ – $[1\bar{1}0]$ и $[\bar{1}\bar{1}0]$. После второго прохода на диаметре 5,37 мм ($\lambda = 2,22$) текстура деформации усиливается, разброс текстурных компонент уменьшается. С увеличением коэффициента вытяжки на диаметре 3,2 мм аксиальная текстура сохраняется с формированием признаков ограниченной текстуры $\{111\}\langle 112 \rangle$. Далее с ростом степени деформации интенсивность текстуры $\{111\}\langle 112 \rangle$ возрастает, и на ФРО образцов проволоки диаметрами 2,39 мм, 2,09 мм и 1,65 мм отчетливо видна сложная комплексная текстура, состоящая из аксиальной текстуры $\langle 100 \rangle + \langle 111 \rangle$ и ограниченной $\{111\}\langle 112 \rangle$.

Для понимания процесса возникновения текстурных составляющих были рассчитаны и построены ФРО в относительных радиальных координатах по всему сечению образцов для всех переходов. На примере

образца проволоки диаметром 1,65 мм ($\lambda = 23,51$) рассмотрено распределение текстурных компонент по радиусу (рис. 2).

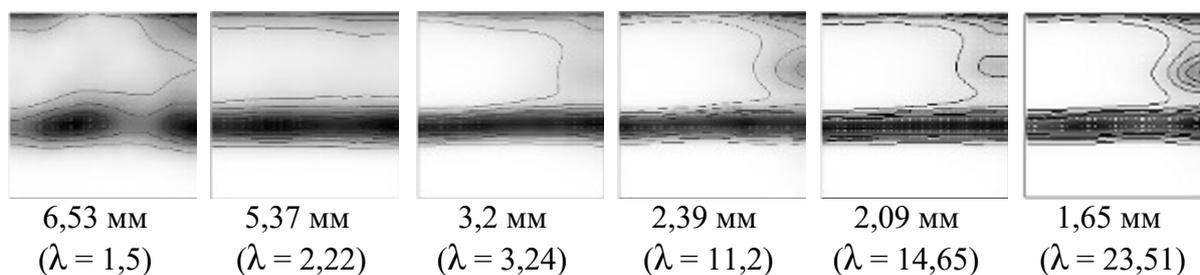


Рис. 1. Интегральные картины ФРО по радиусу проволок различного диаметра ($\varphi_2 = 45^\circ$)

В центральной области проволоки ($r/R = 0 \dots 0,2$) текстура представлена сильно выраженными компонентами $\langle 100 \rangle$ и $\langle 111 \rangle$. С изменением относительной радиальной координаты до 0,3 аксиальная компонента $\langle 100 \rangle$ переходит в ограниченную компоненту $\{110\} \langle 100 \rangle$, которая по мере удаления от центра сдвигается в область ориентации $\{221\} \langle 114 \rangle$ и в дальнейшем происходит переход в область $\{111\} \langle 112 \rangle$.

При увеличении относительной радиальной координаты происходят изменения и с аксиальной компонентой $\langle 111 \rangle$. В компоненте $\langle 111 \rangle$ наибольшую устойчивость имеет ориентация $\langle 112 \rangle$ и поэтому, в то время как другие компоненты $\langle 111 \rangle$ исчезают, при координате радиуса $r/R = 0,3 \dots 0,5$ появляются «пятна», отвечающие формированию ограниченной компоненты $\{112\} \langle 111 \rangle$. При $r/R = 0,7$ происходит окончательный переход в область ориентаций $\{111\} \langle 112 \rangle$, и периферия проволоки представлена лишь компонентой $\{111\} \langle 112 \rangle$, которая сформированна из аксиальных компонент $\langle 100 \rangle$ и $\langle 111 \rangle$.

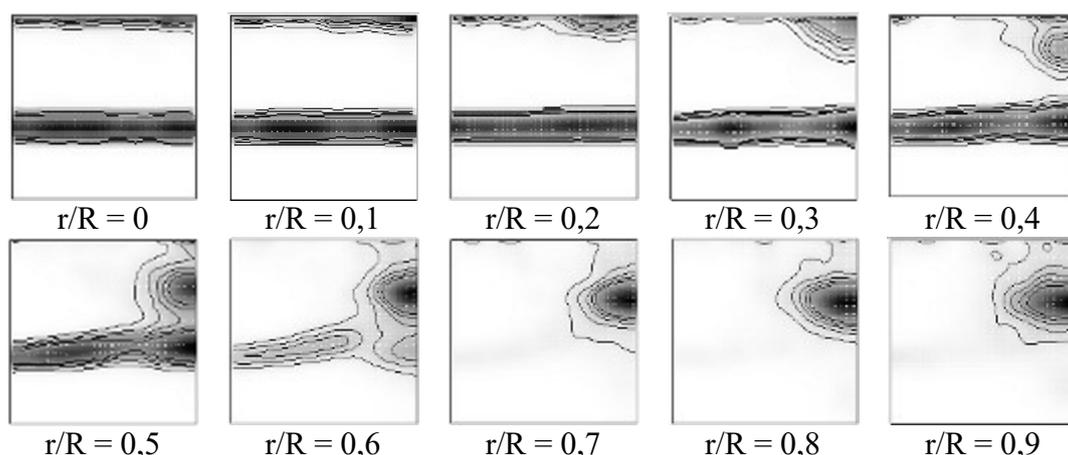


Рис. 2. ФРО по радиусу для проволоки диаметром 1,65 мм ($\varphi_2 = 45^\circ$)

Таким образом, текстурные составляющие представляют собой не равномерную смесь по всему радиусу проволоки, а присутствуют в различных областях полуфабриката. Данная особенность формирования

текстурного состояния на стадии грубого волочения будет влиять на текстуру рекристаллизации при последующем отжиге, а так же сказываться на свойствах конечного продукта, т. к. медь обладает значительной анизотропией модуля упругости, обусловленной наличием кристаллографической текстуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теория образования текстур в металлах и сплавах / Я. Д. Вишняков, А. А. Бабарэко, С. А. Владимиров, И. В. Эгиз. – М.: Наука, 1979. – 344 с.
2. Wang, Y. Texture evolution and flow stress of columnar-grained polycrystalline copper during intense plastic deformation process at room temperature / Y. Wang, H.-Y. Huang, J.-X. Xie // *Materials Science and Engineering A*. – 2011. – V. 530. – P. 418–425.
3. Effect of annealing temperature on the texture of copper wire. / S. L. Demakov, Yu. N. Loginov, A. G. Illarionov, M. A. Ivanova, M. S. Karabanalov // *The Physics of Metals and Metallography*. – 2012. – № 7. – V. 113. – P. 681–686.
4. Текстурирование на этапах изготовления медной проволоки / С. Л. Демаков, М. А. Иванова, А. Г. Илларионов, Ю. Н. Логинов // *Кабели и провода* – 2012. – № 2(333). – С. 8–12.
5. EBSD Analysis of the Submicron Width Fiber Shaped Grain Copper Fabricated by Drawing / M. Matsushita, T. Kuji, H. Kuroda, S. Aoyama, H. Ohfuji // *Materials Sciences and Application*. – 2011. – V. 2. – P. 911–916.