

# ИЗУЧЕНИЕ ТЕКСТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ХОЛОДНОТЯНУТОЙ МЕДНОЙ ПРОВОЛОКИ И ИХ СВЯЗИ С МОДУЛЕМ УПРУГОСТИ

*Иванова М.А., Степанов С.И.*

*Научный руководитель - доцент, к.т.н. Демаков С.Л.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург,  
marysjaivanova@yandex.ru

Холодное волочение проволоки относится к числу наиболее распространенных технологических операций обработки металлов давлением. Из-за кристаллической переориентации под действием деформации в материале возникает и развивается текстура. Определенная текстура деформации преобразуется в соответствующую текстуру рекристаллизации при отжиге. И в том и в другом случаях процесс текстурообразования сказывается на технологических и эксплуатационных свойствах материала.

В данном исследовании использовалась проволока из меди марки М00 производства ЗАО СП «Катур-Инвест», полученная из катанки методом CONTIROD из катодов марки М00к производства ОАО «Уралэлектромедь». План промышленного эксперимента: катанка диаметром 8 мм из меди марки М00 подвергается волочению с получением проволоки диаметром 1,38 мм на стане многократного волочения MSM 85 за 12 проходов при скорости волочения на последнем тянущем шкиве 20 м/с.

Методом дифракции обратно отраженных электронов (ДОЭ) установлено, что текстурное состояние медной проволоки марки М00 после стадии волочения имеет ярко выраженное зональное строение. В центральной зоне формируется характерная для медной проволоки двухкомпонентная аксиальная текстура  $\langle 100 \rangle + \langle 111 \rangle$ , компоненты которой резко отличаются модулем упругости, соответственно 210 и 70 ГПа. В следующей по направлению к периферии зоне основной компонентой является компонента  $\langle 111 \rangle$ . В приповерхностном слое происходит резкий переход – направление  $\langle 111 \rangle$ , параллельное оси деформации, смещается по стороне стереографического треугольника  $\langle 111 \rangle - \langle 100 \rangle$  в область ориентаций близких к  $\langle 211 \rangle$ . Текстурное состояние периферийного слоя можно представить, как аксиальную текстуру  $\langle 211 \rangle$ , но более точным ее описанием будет конусная текстура  $\langle 111 \rangle$  с углом отклонения от оси проволоки, лежащим в диапазоне 16...24 градусов. Направление  $\langle 111 \rangle$  имеет симметричный наклон относительно оси деформации с противоположных по радиусу сторон. Согласно литературным данным [1] текстуре волочения меди в нашем случае отвечают лишь центральные области. В то время как основной объем имеет другую текстуру.

В целом проволоку после волочения можно представить в виде композиционного материала (рис. 1), где центральная зона (А) представляет собой волокна с ориентациями  $\langle 100 \rangle$  и  $\langle 111 \rangle$  в соотношении 40 и 60 % соответственно. Следующий слой (В) представляет собой ориентировку  $\langle 111 \rangle$  и периферийный (С) –  $\langle 211 \rangle$ . Причем соотношение объемных долей 0,05/0,2/0,75. Различие между слоями особенно ярко проявляется в значениях модуля упругости.

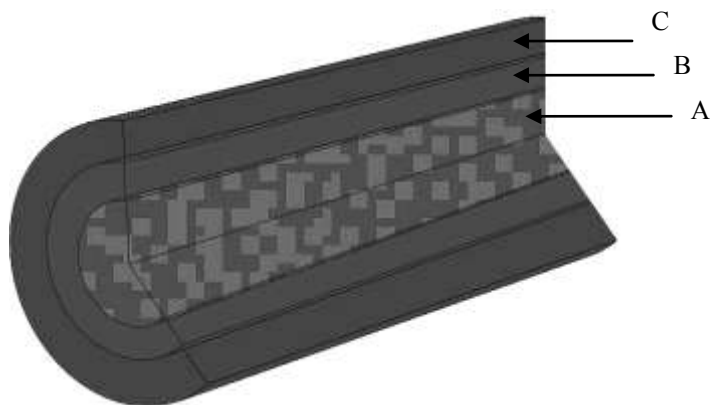


Рис. 1 Схема текстурного состояния проволоки

Значение модуля упругости деформированной проволоки составило 155 ГПа, что выше значений модуля для анизотропного состояния на 30 ГПа. Это подтверждает наличие текстурованности с основными компонентами  $\langle 211 \rangle$  и  $\langle 111 \rangle$ .

На следующем этапе работы показано, что зональность деформированного состояния проволоки оказывает влияние на формирование текстуры рекристаллизации в ходе проведения отжига.

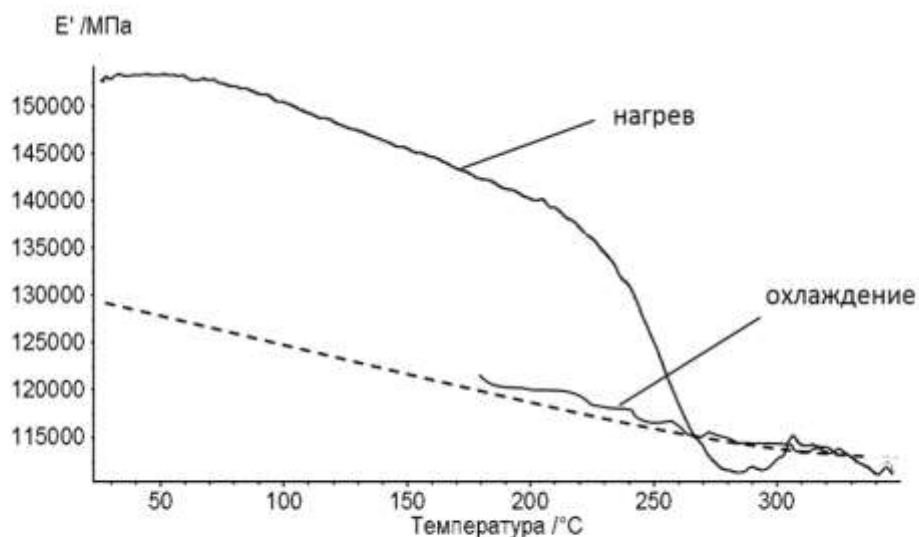
Медная проволока после стадии «грубого» волочения подвергается рекристаллизационному отжигу. Температура начала рекристаллизации бескислородной меди высокой чистоты составляет 200...240 °С, а электролитической деформированной меди в зависимости от содержания кислорода - 180...230 °С [2].

Изменение текстурного состояния в результате рекристаллизационных процессов должно отражаться в показателях модуля упругости. Разработана методика определения модуля упругости для нестандартных цилиндрических образцов из медной проволоки марки М00 на установке DMA 242 С.

На рис. 2 представлены изменения величины модуля упругости с изменением температуры нагрева. Скорость нагрева составила 20 °С/мин.

Показано, что с повышением температуры нагрева до 230 °С происходит закономерное равномерное снижение значений модуля Юнга, обусловленное температурной зависимостью, при этом наклон полученной кривой близок к наклону кривой, взятой из литературных источников [1].

При температуре около 240 °С происходит резкий спад показателей с образованием минимума при 270 °С. Такое резкое изменение значения модуля упругости возможно связано с процессами рекристаллизации, происходящими в образце, когда ориентация рекристаллизованного зерна отдалается от высокомодульных направлений. Такое изменение значения модуля упругости, связанное с процессами рекристаллизации, подтверждается металлографией и появлением двух экзоэффектов на кривой дифференциальной сканирующей калориметрии, снятой при той же скорости нагрева.



— - экспериментальные данные; ----- - температурная зависимость модуля упругости без учета рекристаллизационных процессов

Рис. 2 Изменение модуля упругости с температурой нагрева

Таким образом, измерение модуля упругости при нагреве позволяет определять температурные интервалы рекристаллизационных процессов в текстурированном материале.

Работа выполнена при поддержке конкурса на проведение научных исследований аспирантами, молодыми учеными и кандидатами наук УрФУ.

Используемая литература:

1. Осинцев О.Е. Медь и медные сплавы: справочник / О.Е. Осинцев, В.Н. Федоров. М.: Машиностроение, 2004. 336 с.
2. Машиностроение. Энциклопедия. Цветные металлы и сплавы. Композиционные металлические материалы. / под ред. И.Н. Фриндландера. М.: Машиностроение, 2001. 880 с.