

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию инженера Ивановой Марии Александровны, выполненной на тему «Закономерности изменения структуры и текстуры электротехнической медной проволоки в процессе её получения», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 –  
Металловедение и термическая обработка.

Представленное научное исследование выполнено в рамках государственных федеральных заданий и проектов, а так же по хоздоговорной теме с ОАО «Катур-Инвест».

Урал в лице ОАО «Уралэлектромедь» и др., является ведущим регионом России по производству меди и изделий из неё, по-этому, новые исследования, новые знания полезны, а постановка задач и целей а к т у а л ь н ы .

В литературном обзоре подробно рассмотрена современная технология производства медной проволоки включающая: непрерывное литье заготовки из катодной меди, производство медной катанки и далее изготовление из неё проволоки. Рассмотрено влияние кислорода (0,04%), который окисляет примеси (Fe, Sb, Pb и др.), выводя их из твердого раствора, что повышает электропроводимость меди – основную её служебную характеристику.

Кроме того, показано, что несмотря на большой прогресс в технологии волочения меди, имеющиеся фрагментарные сведения о формировании текстур прокатки не дают полного представления о динамике текстурообразования на всех этапах производства проволоки.

В разделе «Материал и методика исследования» в историческом аспекте подробно рассмотрен метод ДОЭ/EBSD текстурного анализа, начиная с 1920 года, данный метод был реализован на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-6490LV с программно-аппаратным комплексом регистрации и анализа картин дифракции обратнорассеянных электронов и на электронно-ионном микроскопе ZEISS\_CrossBeam AURIGA. Анализ тонкой структуры

Вх. № 05 - 19/1 - 283  
от 18.11.14 г.



проводили при увеличениях до 40000 крат на микроскопе JEM-2100. Здесь же подробно описана методика препарирования объектов исследования.

Описана методика прецизионных механических испытаний на растяжение, которые проведены на испытательной машине Instron 3382, а также динамический механический анализ на приборе DMA 242C (фирма NETZSCH) в широком диапазоне температур вплоть до температуры рекристаллизации. Этим методом был оценен модуль нормальной упругости  $E$ , как информативная механическая характеристика.

Эти исследования выполнены на всех 18 переделах от катанки диаметром 8 мм, до проволоки диаметром 0,26 мм. Следует отметить, что исследования текстуры и свойств на диаметрах проволоки от 0,62 до 0,26 мм требуют большой скрупулезности, прецизионности.

Следует полагать, что эти систематические исследования выполнены впервые.

Проведенный термический анализ фазовых превращений можно оценить, в данном случае, как ультрапрецизионный, так как объем фазовых превращений в данной меди мал и даже незначителен.

В третьей главе представлены результаты оценки структуры и свойств литой заготовки и катанки. Показана металлография зеренной структуры, твердость разных зон отливки, морфология эвтектики в междендритных пространствах.

На рис. 3.12, б представлена, в частности, частотная диаграмма модуля упругости, который изменяется от 96 до 136 ГПа, при этом, в первом выводе по этой главе (стр. 72) отмечается, что катанка обладает слабой текстурной неоднородностью. Здесь возникает вопрос, почему столь существенно разнятся значения  $E$ , как при измерениях по горизонтали катанки, так и по вертикали, ведь модуль  $E$  – структурно не чувствительная характеристика, она не зависит, например, от размера зерна?

Интересные и полезные результаты (прочность, твердость, модуль упругости) представлены в разделе 3.3. Здесь показаны свойства катанки десяти европейских производителей и если различия по твердости и прочности вполне



понятны, то различия по показателю  $E$  (от 110 до 125 ГПа) требуют комментариев. То же самое имеет место и после разного отжига катанки ( $\Delta E$  достигает 15 ГПа, рис. 3.23). Здесь можно отметить, что повышение температуры отжига катанки понижает показатель  $E$  на 8-10%. Представляется, что всё должно быть наоборот? Что же происходит в таком случае с межатомным взаимодействием, который определяет уровень модуля упругости  $E$ ? Возможно эти различия связаны с погрешностью выбранной методики определения  $E$ .

Четвертая глава посвящена изучению динамики текстурного состояния при волочении. Обращает на себя внимание высокий уровень постановки и исполнения экспериментов и их аналитической обработки. Например, показано полное совпадение направлений  $\langle 100 \rangle$  и  $\langle 111 \rangle$  с осью волочения проволоки; определена объемная доля текстурных компонентов по сечению проволоки последовательно после каждого перехода (рис. 4.17 и 4.18), текстурированный объем нарастает по мере волочения, а после отжига достигает 60%. При этом рассмотрены текстуры, как в периферийной, так и в центральной части проволоки.

На рис. 4.23 схема текстурных разворотов и эволюции текстуры деформации (рис. 4.35) в ходе волочения позволяет лучше понять природу изменения физических и механических свойств медной проволоки и соответствующей продукции.

Пятая глава посвящена влиянию промежуточного отжига после 13 проходов, с диаметра 8,0 до 2,0 мм (суммарный коэффициент вытяжки 33,6%) на наследование текстуры, механических свойств. При этом рассмотрены два вида отжига – резисторный и в конвейерной печи и установлено, что прочность проволоки после отжига в конвейерной печи не изменяется, а пластичность, показатели  $\delta$  и  $\delta_p\%$ , повышаются на 4% абсолютных (на 10% относительных) в сравнении с резисторным отжигом. Это следует оценивать как значимый в прикладном отношении результат.

В шестой главе рассмотрено влияние частиц оксида меди на процесс волочения проволоки. Здесь так же, как и в четвертой главе, следует отметить



прецизионность выполнения металлографических исследований. совмещенным с анализом механики деформирования относительно мягкой меди, содержащей твердые включения оксида меди.

Следует при этом обратить внимание на то, что содержание кислорода в исследуемой проволоке производства ОАО «Уралэлектромедь» составляло 0,024%, количество оксидов, соответственно, мало, но с точки зрения качества этой проволоки и такой, казалось бы, фактор имеет не только научное, но и прикладное значение. Здесь диссертантом убедительно показано, что промежуточный отжиг при 600 °С, 1 час, в отличие от резисторного при 400 °С, 1 секунда ведет к сфероидизации пор, порожденных большой суммарной деформацией проволоки перед промежуточным отжигом.

Таким образом, выполненное исследование является существенным научным вкладом в понимание структурных изменений и механических свойств, сопровождающих процесс производства проволоки на всех этапах передела.

Возможные корректировки технологии производства проволоки на ОАО «Уралэлектромедь», вытекающие из выполненного исследования, не выглядят яркими, но на сегодня, данная отрасль производства так хорошо развита и так масштабна, что любой реализованный позитивный вклад может быть полезным и значительным.

Полученные в работе новые результаты вполне достоверны, выводы и заключения в полной мере обоснованы.

Вместе с тем по работе можно сделать замечания, поставить вопросы.

1. В заключении (см. стр. 150) «предложен способ оценки правильности настройки литейной машины по симметричности дисперсии твердости и модуля упругости катанки». А повлияет ли это на свойства конечного продукта?, принимая во внимание «отсутствие наследственности между текстурным состоянием литой заготовки и медной катанки» (вывод 2, стр. 73).

2. В работе убедительно рассмотрена эволюция текстуры, формирующаяся при волочении, но что из этого можно извлечь и можно ли извлечь что-то для совершенствования технологии?



3. В некоторых выводах по разделам встречается термин «обнаружено отсутствие...» (стр. 73) или «обнаружено, что текстурное состояние...» (стр. 106) или «обнаружено явление сфероидизации...». Было бы лучше использовать другой термин, например, «установлено», «показано» и др.

Высказанные замечания не влияют на общую положительную оценку всей работы, которая хорошо оформлена и опубликована.

Рассматриваемая работа представляет собой законченное исследование, по всем компонентам соответствует требованиям ВАК («Положение о присуждении ученых степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям», п. 9) и автор её Иванова Мария Александровна в полной мере заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – металловедение и термическая обработка металлов.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

Заведующий кафедрой  
Технологии металлов  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный  
лесотехнический университет»,  
доктор технических наук, профессор  
Email: pba-nn@yandex.ru



  
Потехин Борис Алексеевич

Подпись *Петескина А. А.*  
заверяю  
Начальник  
общего отдела *Петескина А. А.*

18 октября 2014 г.  
г. Екатеринбург

Адрес организации: 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»  
Телефон: +7 (343) 262-96-38, Email: general@usfeu.ru, http://www.usfeu.ru