

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ФГБУН ФТИ УрО РАН

доктор физ.-мат. наук

В.И.

В. И. Ладьянов

«16» октября 2014 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации о диссертационной работе

Ивановой Марии Александровны: «Закономерности изменения структуры и текстуры электротехнической медной проволоки в процессе ее получения»,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Диссертационная работа Ивановой М.А. посвящена исследованию закономерностей изменения структуры и текстуры электротехнической медной проволоки в процессе ее производства от непрерывно литой заготовки до катанки и проволок различного диаметра.

Данная работа, несомненно, имеет как фундаментальное, так и прикладное значения. В последнее время к проводникам тока, работающим в сложных электрических сетях, предъявляют требования повышенной надежности. В научной среде проявляется интерес к проблемам, возникающим при термомеханическом воздействии на медь. На сегодняшний день особый интерес представляют процессы структурообразования и формирования текстуры при больших накопленных деформациях. Поэтому вопросы, связанные с изучением влияния различных факторов (степени деформации, температуры отжига) на процессы текстурообразования в медных полуфабрикатах, рассмотренные в настоящей работе, являются актуальными.

В диссертационной работе дан глубокий анализ формирования текстуры в медных полуфабрикатах электротехнического назначения, полученных по промышленным технологическим режимам. Изучены процессы текстурообразования в медной проволоке при волочении, а так же при проведении рекристаллизационного отжига.

Вх. № 05-19/1-264
от 18/11.14 г.

Диссертация состоит из введения, 6 глав, общих выводов по работе, двух приложений, библиографического списка из 98 наименований, изложена на 168 страницах, включает 126 рисунков и 9 таблиц.

Во введении изложена актуальность работы, показаны научная новизна и практическая значимость, а так же сформулированы цели и задачи диссертационной работы.

В первой главе дан аналитический обзор литературы по исследуемой проблеме. Представлена характеристика электротехнической меди, рассмотрены и проанализированы процессы формирования текстуры в ходе волочения и прокатки, а также при проведении рекристаллизационного отжига. Рассмотрены вопросы анизотропии свойств меди. Проведен анализ легирования кислородом технической меди. Достаточно подробно показана технология производства электротехнической медной проволоки. В результате поставлена цель работы и сформулированы конкретные задачи.

Во второй главе содержится исчерпывающая информация об используемых автором полуфабрикатах из изучаемой марки меди, химическом составе, условиях промышленного получения, режимах термообработки и методах исследования. Используемые в работе методы структурного, текстурного анализа, химических и физических исследований достаточно разнообразны – это металлография, фрактография, растровая электронная микроскопия, просвечивающая электронная микроскопия, микрорентгеноспектральный анализ, калориметрический анализ при нагреве и охлаждении, динамический механический анализ. Особо подробно рассмотрен текстурный анализ методом дифракции обратно рассеянных электронов (EBSD). Для определения механических свойств использовали испытания на растяжение при комнатной температуре и дюрometriю. Многообразие взаимно дополняющих методик позволили автору получить достоверные, хорошо согласующиеся между собой данные. Интерпретация экспериментальных результатов свидетельствует о том, что автор хорошо владеет описанными методиками.

Результаты исследования приведены в главах с третьей по шестую.

В третьей главе рассмотрено исходное состояние медной катанки, начиная от непрерывнолитой заготовки. Проведен анализ структуры и свойств непрерывнолитой заготовки и медной катанки. Отмечено, что текстура центральной области катанки и на периферии различна. Результаты измерений микротвердости и модуля упругости в горизонтальном и вертикальном направлениях поперечного сечения катанки показали наличие неоднородности свойств в горизонтальном направлении. Эти данные имеют

практическую ценность, так как на их основе автором предложен способ оценки правильности настройки литейной машины. Кроме того, в данной главе приведены результаты испытаний медной катанки различных производителей и изменение свойств катанки при применении дополнительного высокотемпературного отжига.

Четвертая глава посвящена исследованию формирования структуры и текстуры на этапах волочения медной проволоки. Автором установлено, что в ходе деформации в проволоке формируется сложное многокомпонентное текстурное состояние. Так в центральной области проволоки формируется двухкомпонентная аксиальная текстура $\langle 100 \rangle + \langle 111 \rangle$, а ближе к периферии направление $\langle 111 \rangle$ отклоняется от оси деформации, причем угол отклонения симметричен с противоположных по диаметру сторон. Автор указывает на формирование конусной (цилиндрической) текстуры.

По результатам более подробного анализа текстуры по всем проходам волочения с применением прямых полюсных фигур (ППФ) и функций распределения ориентаций (ФРО) автором было установлено, что в медной проволоке формируется комплексная текстура, состоящая из аксиальной текстуры $\langle 100 \rangle + \langle 111 \rangle$ в центральной области полуфабрикатов и двухкомпонентной ограниченной текстуры $\{111\} \langle 112 \rangle$ на периферии.

В результате текстурного анализа со всех проходов деформации была предложена схема текстурного перехода по радиусу проволоки и построена диаграмма эволюции текстуры деформации в зависимости от коэффициента вытяжки.

В пятой главе приведены результаты влияния промежуточного отжига на структуру, текстуру и свойства медной проволоки. Так как медь обладает анизотропией модуля упругости, то изменения в текстурном состоянии отражаются в показателях модуля упругости по оси проволоки. В данной главе описан способ определения температуры начала рекристаллизации для деформированных образцов проволоки с помощью динамического механического анализа методом трех точечного изгиба и проведено моделирование процесса промежуточного отжига. Обнаружено наличие зональной неравномерности протекания процессов рекристаллизации по сечению полуфабрикатов. Автором установлено, что основными текстурными компонентами после рекристаллизационного отжига являются компоненты $\langle 100 \rangle$ и $\langle 111 \rangle$. Проведение промышленного эксперимента показало, что полученные результаты согласуются с лабораторными: формируется текстура рекристаллизации, подобная текстуре деформации, с основными компонентами $\langle 100 \rangle$, $\langle 111 \rangle$ и $\langle 211 \rangle$. Анализ результатов механических испытаний на растяжение образцов отожженной проволоки показал, что

условный предел текучести и временное сопротивление имеют минимальные значения при силе тока 1780 А.

В шестой главе исследовано взаимодействие частицы оксида меди с медью в процессе волочения и отжига. Автором был проведен как теоретический анализ возникновения пор вблизи частиц оксидов меди, так и проведено экспериментальное исследование с использованием фрактографического анализа, металлографии и электронно-ионной микроскопии. В результате было установлено, что в ходе деформации вблизи частиц оксидов меди формируются поры, вытянутые вдоль направления растягивающих напряжений. Поперечный размер пор зависит от размеров самой частицы, а относительная длина поры увеличивается по мере накопления степени деформации. Так же рассмотрен процесс формоизменения пор в ходе проведения отжига.

Результаты работы достаточно хорошо изложены в заключении.

Научная новизна исследований не вызывает сомнений и свойственна всем этапам работы. В частности:

1. В работе экспериментально установлено сложное текстурное строение деформированной медной проволоки. Центральные зоны имеют в основном аксиальный тип текстуры, а в периферийных зонах развивается локальная ограниченная двухкомпонентная (цилиндрическая) текстура. Предложена схема развития текстуры по сечению проволоки от центра к периферии. А так же построена диаграмма изменения параметров текстурных зон в зависимости от степени деформации.
2. Показано наличие зональной наследственности текстуры рекристаллизации от текстуры деформации.
3. Установлено, что при деформации вблизи частиц оксида меди формируются поры, вытянутые вдоль оси проволоки, при этом длина пор нарастает по маршруту волочения по мере накопления степени деформации. Показано, что проведение отжига при температурах свыше 600 °С приводит к сфероидизации деформационных пор.

Практическую ценность, несомненно, представляет:

- разработанная автором методика оценки правильности настройки литейной машины по симметрии дисперсий твердости и модуля упругости проб катанки в поперечном сечении, что позволит проводить коррекцию параметров работы агрегата без его остановки;

- предложенный на основе ДМА метода способ изучения первичной рекристаллизации по изменению модуля упругости (патент на изобретение RU 2496103), обеспечивающий возможность проведения корректировки технологических параметров отжига;
- построенная зависимость изменения среднего размера зерна, механических свойств и текстурного состояния от силы тока при электроконтактном отжиге на волочильной машине.

Результаты работы могут быть рекомендованы для использования в научно-исследовательской и производственной деятельности учреждений и предприятий, занимающихся производством изделий электротехнического назначения из меди и ее сплавов, в частности в таких организациях Институт физики металлов УрО РАН, Физико-технический институт УрО РАН, ЗАО СП «Катур-Инвест» (г. Верхняя Пышма), ОАО «Ревдинский завод по обработке цветных металлов» (г. Ревда), ОАО «Екатеринбургский завод по обработке цветных металлов» и других.

Оценивая диссертационную работу можно констатировать, что она является законченной научно-исследовательской квалификационной работой, в которой на основании выполненных Ивановой М.А. исследований содержится решение задачи структурообразования и формирования текстуры в медной проволоке при больших накопленных деформациях и рекристаллизационных отжигах.

Диссертационная работа обладает всеми необходимыми признаками: актуальностью, научной новизной, достоверностью результатов и практической значимостью. Она грамотно и логично изложена и хорошо проиллюстрирована. Научные положения, вынесенные на защиту, обоснованы, достоверны и отличаются новизной. Содержание автореферата отвечает содержанию диссертации. Тема диссертации соответствует заявленной специальности. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 10 статьях в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, а так же доложены на 10 Всероссийских и международных конференциях.

По тексту диссертации имеются отдельные замечания и вопросы:

1. Вызывает сожаление отсутствие исследований влияния контактной окружающей среды при волочении на химический состав поверхностных слоев медной проволоки и, соответственно, на тип текстуры в поверхностных слоях.

2. В разделе 5.2 приведены зависимости от силы тока отжига, а не от конкретной температуры отжига, что в целом понижает ценность полученных результатов, в данном разделе и затрудняет их применение для других исследований. Реально ли построение зависимостей от температуры отжига или скорости нагрева и т.п.?1.

3. В диссертационной работе отдельно рассматриваются вопросы формирования текстуры в меди и взаимодействия медной матрицы с частицами оксидов. Почему не рассматривалось влияние частиц оксидов на формирование текстуры в проволоке?

4. При рассмотрении взаимодействия медной матрицы с частицами оксидов не принимается во внимание возможность деформационно-индуцированного растворения оксидов в матрице. Почему?

5. В тексте диссертации использован ряд производственных терминов без детальной их расшифровки, например «катанка», «грубое», «тонкое» волочение.

Указанные замечания, без сомнения, не снижают высокой оценки представленной диссертационной работы. На основании изложенного считаем, что диссертация Ивановой Марии Александровны на тему: «Закономерности изменения структуры и текстуры электротехнической медной проволоки в процессе ее получения» по актуальности, объему выполненных исследований и практической значимости полученных результатов соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор, Иванова Мария Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Доклад Ивановой М.А. о диссертационной работе заслушан на семинаре отдела физики и химии наноматериалов ФГБУН Физико-технический институт УрО РАН 14 октября 2014 г.

Заведующий отделом физики и химии наноматериалов,

ФГБУН Физико-технический институт УрО РАН,

доктор физ.-мат. наук, профессор




Елсуков Евгений Петрович

Отзыв обсужден и утвержден на заседании ученого совета ФГБУН Физико-технический институт УрО РАН, протокол № 8, от 16 октября 2014 г.

Ученый секретарь ФГБУН Физико-технический институт УрО РАН

к.х.н.



Гончаров О.Ю.

Адрес организации: 426000, г. Ижевск, ул. Кирова, 132

ФГБУН Физико-технический институт УрО РАН

Тел. 8 (3412) 43-03-02, e-mail: fti@ftiudm.ru, <http://ftiudm.ru/>