

ОТЗЫВ

официального оппонента Мишина Василия Викторовича на диссертационную работу Данилова Сергея Владимировича «Особенности формирования текстуры металлических материалов с ОЦК и ГЦК решетками при термодеформационной обработке», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Актуальность темы диссертации.

Развитие отечественной промышленности и повышение ее конкурентоспособности напрямую связаны с вопросами повышения уровня механических свойств металлических материалов, имеющих функциональное и конструкционное назначение. Это делает актуальным корректировку существующих, а также необходимым – разработку и внедрение в промышленности новых технологий получения материалов.

Одним из важных этапов получения многих металлических материалов является термодеформационная обработка. На сегодняшний день проблема получения заданного структурного и текстурного состояния материала занимает ключевое место в промышленном производстве. Особенно важным является формирование конечного текстурного состояния и обеспечение его однородности, что необходимо для достижения заданного уровня физических и механических свойств готовой продукции.

При этом следует отметить, что описание процессов текстурообразования при горячей деформации является наиболее сложным из-за необходимости учета множества факторов, таких как рекристаллизация, фазовые превращения и т.д.

В связи с вышесказанным, тема диссертации, направленная на изучение и уточнение закономерностей формирования и эволюции кристаллографической текстуры металлов с ОЦК и ГЦК кристаллическими

решетками для обеспечения необходимого комплекса физико-механических свойств готовой продукции, безусловно, является актуальной.

Структура и основное содержание работы.

Диссертационная работа содержит 67 рисунков и 12 таблиц, изложена на 132 страницах машинописного текста, состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы, который включает 135 источников.

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи, представлена научная новизна и практическая значимость, методология и методы исследования, приведены основные положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация полученных результатов.

В **первой главе** рассмотрены вопросы формирования кристаллографической текстуры металлических материалов с ОЦК и ГЦК – решетками при деформационной обработке. Представлены основные механизмы пластической деформации и формирования текстуры исследуемых материалов. Подробно рассмотрены факторы, влияющие на развитие деформационной текстуры. Отдельное внимание уделено процессам формирования текстуры при горячей прокатке в промышленных условиях. Рассмотрены проблемы формирования механических свойств и их анизотропии. Следует отметить большое количество рассмотренных отечественных и зарубежных литературных источников, а также их последовательный и взаимосвязанный анализ.

Во **второй главе** диссертации рассмотрены использованные материалы и методы исследования. В работе использовали промышленные образцы материалов с ОЦК и ГЦК – решетками. Для оценки механических свойств применяли испытания на растяжение образцов, различным образом ориентированных относительно направления прокатки. Рассмотрены методики структурных исследований и схемы отбора образцов. Для термической обработки использовали лабораторные муфельные печи, а также печи-ванны. При отжиге относительно тонкого молибдена была задействована вакуумная

печь. Для исследований структуры были использованы современные методы электронной микроскопии, в том числе метод анализа картин дифракции отраженных электронов (EBSD анализ). Детально рассмотрена методика шлифоподготовки образцов для проведения ориентационного анализа, обеспечивающая высокое качество сканирования.

Третья глава посвящена исследованиям текстуры горячекатаного технического сплава Fe-3%Si. На основе анализа ориентационных карт с различных областей заготовок рассмотрены особенности формирования структуры и текстуры по толщине и ширине раската. Рассмотрен механизм преобразования деформационных ориентировок в ориентировки рекристаллизации. Получены экспериментальные данные по стабилизации деформационной текстуры за счет блокировки подвижности малоугловых границ при рекристаллизации с повышением содержания углерода в сплаве.

В четвертой главе рассмотрены вопросы формирования текстуры деформации и рекристаллизации молибдена. Показано, что текстура молибденового листа после горячей прокатки в промышленных условиях практически однородна по толщине раската. Установлена взаимосвязь текстуры деформации и рекристаллизации молибдена при вакуумных отжигах с различным временем выдержки. Выполнен анализ механизмов эволюции текстурного состояния в молибдене в процессе отжига. Сформулировано положение о формировании текстуры рекристаллизации за счет движения кристаллографически обусловленных границ.

Пятая глава посвящена исследованиям структурного и текстурного состояния алюминиевого сплава Al-Mg-Si при горячей прокатке в различных временных условиях. При этом показано различие в активностях систем скольжения по толщине раската и особенностях рекристаллизационных процессов при горячей деформации. Представлены экспериментальные результаты анализа механических свойств образцов (σ_b , $\sigma_{0,2}$) исследуемого сплава и уровень их анизотропии в трех направлениях. Аргументировано представлен анализ взаимосвязи анизотропии механических свойств и

рассчитанных по EBSD данным значений фактора Тейлора для рассмотренных режимов горячей прокатки.

В **шестой главе** рассмотрены процессы образования текстуры в образцах малоуглеродистой низколегированной стали 06Г2МБ, полученных при помощи контролируемой прокатки. Представлены данные о неоднородности структурного состояния по толщине раската после контролируемой прокатки. Показаны сформированные протяженные области с однородной (вдоль НП) ориентировкой $(001)[110]$, по которым в первую очередь начинается разрушение металла при нагружении.

По результатам исследований сформулированы основные выводы диссертации.

Диссертационная работа написана автором **самостоятельно и обладает внутренним единством**.

Научная новизна результатов диссертационной работы состоит в определении закономерностей формирования кристаллографической текстуры деформации и рекристаллизации в промышленных образцах электротехнической стали, молибдена, алюминиевого сплава 6061, а также стали 06Г2МБ с учетом ее неоднородности по толщине и ширине раскатов. Установлен механизм стабилизации текстуры деформации $(110)[001]$ в техническом сплаве Fe-3%Si при горячей прокатке за счет блокирования подвижности малоугловых границ атомами углерода. Показано, что анизотропия прочностных свойств алюминиевого сплава после горячей прокатки обусловливается интегральной текстурой материала и может быть описана при помощи усредненного по ориентировкам фактора Тейлора. Установлено, что образование расщеплений при разрушении малоуглеродистых низколегированных трубных сталей происходит в вытянутых в направлении горячей прокатки областях, имеющих ориентацию, близкую к $(001)<110>$.

Практическая значимость полученных результатов состоит в разработке рекомендаций для построения моделей формирования текстур

рекристаллизации и фазовых превращений в металлических материалах ОЦК и ГЦК – решетками. Полученные в работе результаты были использованы при разработке численной модели прогнозирования структуры листов при прокатке на стане 5000 ПАО «ММК» (оформлен патент РФ № 2729801 С1).

Личный вклад автора состоит в самостоятельном проведении структурных исследований при помощи методов ориентационной микроскопии (EBSD анализа), анализе и обработке данных, проведении и анализе данных механических испытаний и расчетов.

Автореферат диссертации соответствует диссертационной работе по всем квалификационным признакам: по цели, задачам исследования, основным положениям, определению актуальности, научной значимости, новизны, практической ценности и др. По теме диссертационной работы опубликовано 17 научных трудов, из них 13 статей в рецензируемых научных журналах, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, из которых 12 – в журналах, индексируемых в базах Scopus и Web of Science, получен 1 патент РФ на изобретение. Особо следует отметить наличие у соискателя публикаций в высокорейтинговых зарубежных журналах, входящих в первый quartиль (Q1) по импакт-фактору JCR.

Основные положения и выводы диссертационной работы достоверны и достаточно обоснованы. Это обеспечено использованием современного оборудования, взаимодополняющих методов структурного анализа, воспроизводимостью результатов исследования. Полученные результаты согласуются с ранее опубликованными данными по теме работы, при этом уточняют и конкретизируют представления о формировании структуры и текстуры металлических материалов с ОЦК и ГЦК решетками в процессе термодеформационной обработки.

Диссертация представляет собой самостоятельную научно-квалификационную работу, не содержит заимствованного материала без ссылок на автора или источник заимствования. Диссертационное исследование не

содержит результатов научных работ, выполненных в соавторстве, без ссылок на соавторов.

По диссертационной работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. В диссертации представлено большое количество новых научных результатов, а также их анализ, выполненный на высоком уровне. Тем не менее, диссертация в некоторой степени представляет собой совокупность самостоятельных исследований, посвященных изучению отдельно выбранных материалов. От этого теряется структурная взаимосвязь между главами работы. Возникает вопрос, чем обусловлено количество выбранных материалов для исследований? Возможно ли обобщить полученные результаты и экстраполировать их на другие, не рассмотренные в диссертации материалы с ОЦК и ГЦК – решетками?
2. В работе мало внимания уделено исследованиям неоднородности напряженно-деформированного состояния (НДС) в металле при горячей прокатке, а также анализу неоднородности температурных полей (см. рис. 5.4). Известно, что формирование текстуры материалов при прокатке тесно связано со схемой НДС и температурой в очаге деформации. Неоднородность НДС (например, вследствие наличия трения между валком и полосой, либо в случае высокого очага деформации при прокатке) или температурного поля могут приводить к формированию различных кристаллографических текстур материала. Не ясно, оценивал ли автор влияние неоднородности температурных и деформационных полей в раскате на неоднородность текстуры после прокатки и насколько это влияние может быть значительным?
3. При описании текстуры с помощью полюсных фигур на некоторых не указаны численные значения интенсивности (плотности) полюсов – например, в единицах равномерного (MUD) или случайного (MRD) распределений. Это затрудняет их анализ.
4. В работе не представлены конкретные режимы прокатки исследуемых материалов и предыстории их обработки (степень деформации, скорость

деформации и т.д.). Вместе с тем, для анализа формирования текстуры при многопроходной прокатке важна история деформирования, то есть конкретные параметры деформации в каждом проходе.

5. Не совсем понятно, что автор подразумевает под термином «скорость прокатки» при деформации алюминиевого сплава (стр. 47 и 78). Учитывается непосредственно скорость деформации (окружная скорость валков) в каждом проходе или общее время многостадийной прокатки?

6. Одной из задач работы являлось исследование влияния кристаллографической текстуры, сформированной в процессе горячей прокатки, на физические, механические и эксплуатационные свойства исследуемых материалов. Из работы непонятно, каким набором указанных свойств обладают сформированные различные структурные и текстурные состояния молибдена (Глава 4).

7. На стр. 63 и 66 сказано, что при горячей прокатке в поверхностных слоях полосы реализуется одноосное напряженное состояние – сжатие за счет т.н. «мгновенного прилипания» поверхности полосы к валкам вследствие трения. Это утверждение требует пояснений, поскольку прокатка, в упрощенном виде, предназначенном для понимания эволюции текстуры, представляется как минимум двухосным НДС – сжатием в направлении толщины полосы и растяжением в направлении прокатки. При наличии уширения напряженное состояние станет трехосным. Автору следует пояснить значение термина «мгновенного прилипания» с учетом полей скоростей течения металла при прокатке, а также наличия сдвиговых компонент тензора деформации, определяющим градиент деформационной текстуры по толщине металла.

Заключение по работе

Приведенные замечания не снижают общий высокий уровень диссертационной работы и вызваны значительным интересом к большому количеству полученных автором новых результатов на основе уникальных экспериментальных исследований.

Диссертационная работа Данилова С.В. «Особенности формирования текстуры металлических материалов с ОЦК и ГЦК решетками при термодеформационной обработке» является законченной научно-квалификационной работой, соответствует паспорту специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов и удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» УрФУ, в которой уточнены и обобщены закономерности формирования и эволюции кристаллографической текстуры металлов с кубическими кристаллическими решетками для обеспечения необходимого комплекса физико-механических свойств готовой продукции.

Считаю, что автор Данилов С.В. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Официальный оппонент:

доцент Высшей школы физики и технологий материалов,
Института машиностроения, материалов и транспорта,
Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого,
доктор технических наук

Мишин Василий Викторович

Дата подписания отзыва: «01 » сентябрь 2021 г.

Адрес: 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29

ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический университет Петра
Великого

Тел: +7(8 0

E-mail: m_bstu.ru, m_v_v_m@

Подпись Мишина В.В. заверяю

Ученый секретарь ФГАОУ ВО СПбПУ Живулин В.П.

