

ОТЗЫВ

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

Актуальность диссертационной работы. Диссертационная работа посвящена исследованию формирования текстуры различных металлических материалов с ОЦК и ГЦК решетками при термомодеформационной обработке и последующей термической обработке. Актуальность темы диссертационной работы обусловлена необходимостью выявления закономерностей формирования и эволюции кристаллографической текстуры, поскольку формирование текстуры приводит к анизотропии физических и механических свойств, что необходимо учитывать при оптимизации существующих и разработке новых технологий производства современных металлических материалов и изделий.

Структура и основное содержание работы. Диссертационная работа содержит 67 рисунков и 12 таблиц, изложена на 132 страницах машинописного текста, состоит из введения, шести глав, заключений, 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.

Первая глава содержит аналитический обзор литературы по теме диссертационной работы, по результатам анализа которого обоснованы постановка цели и задач исследования. Проведен обзор по формированию текстуры металлических материалов с ОЦК и ГЦК-решетками при пластической деформации, рекристаллизации и фазовых превращениях, в процессе термомодеформационной обработки. Обобщен литературный материал о влиянии текстурно-структурного состояния на ориентационно-зависимые физические, механические и эксплуатационные свойства исследуемых промышленных металлических материалов.

Во **второй главе** приводится информация об исследованных автором материалах и дано подробное описание использовавшихся методов исследования.

Третья глава посвящена изучению формирования текстурно-структурного состояния горячекатаной полосы технического сплава Fe-3%Si. В ней проанализировано изменение текстуры по толщине слоя и по ширине полосы. Продемонстрирована связь ориентировки рекристаллизованных зерен с ориентировками деформированных зерен. Предложено объяснение формирования текстуры рекристаллизации на основе движения «кристаллографически обусловленных границ» близких к $\Sigma 9$, $\Sigma 11$, $\Sigma 33a$. Проанализировано влияние $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения и содержания углерода текстуру горячекатаной полосы

В четвертой главе представлены результаты анализа формирования текстурно-структурного состояния в процессе термодформационной обработки листового технического молибдена и последующего отжига. В результате ориентационного анализа показано, что текстура молибденового листа после прокатки при температуре 1100 °С по всей толщине состоит из набора стабильных деформационных ориентировок. Анализ текстуры после деформации и после отжига показало, что по компонентному составу текстура деформации и рекристаллизации технического молибдена повторяет текстуру центральных слоев технического сплава Fe-3%Si.

Пятая глава посвящена изучению влияния скорости горячей прокатки на структурно-текстурное состояние плиты промышленного алюминиевого сплава системы Al-Si-Mg. Проанализированы текстуры деформации и рекристаллизации, формирующиеся в результате деформации с двумя различными скоростями. Основное отличие в структуре данных серий образцов состояло том, что после горячей прокатки по режиму с пониженной скоростью прокатки в поверхностных слоях полосы практически не наблюдаются рекристаллизованные зерна. Определены и компоненты текстур деформации и рекристаллизации центральной и поверхностной областей плиты алюминиевого сплава

На основании сопоставления результатов ориентационного анализа и результатов механических испытаний продемонстрировано, что анизотропия прочностных механических свойств горячекатаной алюминиевой плиты в основном определяется текстурой материала.

Шестая глава посвящена изучению закономерностей формирования текстурно-структурного состояния в малоуглеродистой низколегированной трубной стали типа 06Г2МБ. Автором приведено детальное исследование текстуры по всей толщине листа малоуглеродистой низколегированной трубной стали типа 06Г2МБ, которая используется для изготовления труб большого диаметра нефте- и газопроводов, после контролируемой термомеханической обработки (ТМСР) и последующих термообработок, включающих двойную фазовую перекристаллизацию $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$.

Установлено, что в образцах малоуглеродистой низколегированной трубной стали со структурой, сформированной в результате ТМСП, при дальнейшей их термической обработке наблюдается выраженная текстурная наследственность.

Показано, что за образование расщеплений при разрушении малоуглеродистых низколегированных трубных сталей с бейнитной структурой, полученных после ТМСП, связано с наличием в материале кристаллографической текстуры, формирующейся в процессе горячей деформации и последующего $\gamma \rightarrow \alpha$ сдвигового превращения.

В конце диссертации приведены основные выводы по работе.

Научная новизна данной диссертационной работы заключается в том, что в результате экспериментальных исследований методом ориентационной микроскопии, получены новые научные и уточнены имеющиеся результаты по особенностям формирования при горячей прокатке структурных и текстурных состояний металлических материалов с ОЦК и ГЦК-решетками.

С помощью современных методов ориентационной микроскопии – EBSD, детально изучена кристаллографическая текстура деформации и рекристаллизации на промышленных образцах металлических материалов.

Зафиксировано, что наличие углерода в твердом растворе электротехнического сплава Fe-3%Si позволяет при горячей прокатке частично сохранить текстуру деформации (110)[001], за счет стабилизации дислокационной структуры.

На образцах алюминиевого сплава 6061 продемонстрировано, что анизотропия прочностных механических свойств горячекатаной алюминиевой плиты в основном определяется интегральной кристаллографической текстурой материала.

Показано, что образование расщеплений при разрушении малоуглеродистых низколегированных трубных сталей типа 06Г2МБ с бейнитной структурой, полученных ТМСП, связано с наличием в материале кристаллографической текстуры, формирующейся в процессе горячей деформации и последующего $\gamma \rightarrow \alpha$ сдвигового превращения. За образование расщеплений ответственными являются вытянутые в направлении горячей прокатки области с ориентировкой близкой к (001)<110>.

Практическая значимость полученных результатов диссертационной работы. Даны рекомендации по возможностям оптимизации процессов термомеханической обработки металлических материалов с ОЦК и ГЦК решетками для модернизации существующих технологий производства полуфабрикатов и изделий с определенным комплексом ориентационно-зависимых физических, механических, и эксплуатационных свойств. Полученная в результате исследования информация о структурно-текстурных

состояниях, реализуемых при ТМСР в стали 06Г2МБ, была использована для построения численной модели формирования структуры листов, прокатанных на стане 5000 (ПАО «ММК»), на которую получен патент РФ на изобретение RU 2729801 С1.

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 проиндексированы в базах Scopus и Web of Science, получен 1 патент РФ на изобретение.

Основные положения и выводы диссертационной работы достоверны и обоснованы. Это обеспечено использованием современного оборудования, взаимодополняющих методов структурного анализа, воспроизводимостью результатов исследования. Полученные результаты о текстурном состоянии исследуемых металлических материалов согласуются и дополняют данные, опубликованные в отечественной и западной литературе.

По диссертационной работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. В диссертационной работе автор приводит различные виды визуализации кристаллографической текстуры материалов. В некоторых частях работы текстура представляется в виде прямых полюсных фигур, а в других частях – с помощью сечений функции распределения ориентировок. Это затрудняет сравнение текстурных состояний материалов, представленных в работе.
2. На основе наличия специальных разориентаций автор делает вывод о существовании специальных или «кристаллографически обусловленных» границ. Это рискованное заключение. По-видимому, можно делать только предположение о существовании таких границ.
3. Из диссертации не совсем понятно представляют ли результаты исследования формирования текстуры в молибдене исключительно научный интерес или важны для практики. Непонятно желательна ли в этом случае текстура и какая. Можно также отметить, что в общих выводах нет ни слова конкретно о молибдене.
4. Автором получен патент на численную модель формирования структуры листов, прокатанных на стане 5000 (ПАО «ММК»). Однако, эта численная модель или хотя бы основные идеи, положенные в ее основу не описаны в тексте диссертации.
5. Есть ряд замечаний по тексту диссертации. Текст работы содержит заметное количество стилистических ошибок, встречаются повторы, на некоторых

рисунках не подписаны оси координат (например, рис. 4.1г и 4.3в), ни при описании методики, ни в тексте главы 5 не указана конечная толщина плиты алюминиевого сплава, при описании низкоуглеродистой стали в разделе Методика нет указания, чем отличаются образцы 60Н, 65Н и 60Р, 65Р. Это разные плавки или просто образцы, вырезанные из разных участков полосы?

6. Несколько замечаний по тексту литературного обзора. В одних местах энергия дефектов упаковки дается в эрг/см², а в других в Дж/м², напряжения в литературном обзоре приводятся в кг/мм², а предел текучести в основной части МПа. Вероятно, автор приводил значения в тех единицах, которые использовались в первоисточниках, но это создает определенную путаницу. Reduced stacking fault energy следовало переводить не как снижение ЭДУ, а как приведенная ЭДУ (стр. 26-27). Приводимые в литературном обзоре ФРО не информативны, поскольку они не сопровождаются сетками и не приведен угол φ_2 .

Заключение по работе

Вышеуказанные замечания не снижают общий высокий уровень представленной работы. Диссертация представляет собой законченную работу, в рамках которой проведено большое количество уникальных экспериментальных исследований.

Диссертационная работа Данилова С. В. «Особенности формирования текстуры металлических материалов с ОЦК и ГЦК решетками при термомодеформационной обработке» соответствует паспорту научной специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, а именно п. 2 Теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах, происходящих при различных внешних воздействиях и п. 3 Теоретические и экспериментальные исследования влияния структуры (типа, количества и характера распределения дефектов кристаллического строения) на физические, химические, механические, технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов.

Диссертационная работа Данилова С. В. является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» в УрФУ, в которой показаны закономерности формирования кристаллографической текстуры в конструкционных и функциональных металлических материалах с ОЦК и ГЦК решетками при термомодеформационной обработке, позволяющие оптимизировать существующие и разрабатывать новые технологии производства современных металлических материалов и изделий из них.

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

Официальный оппонент:
Главный научный сотрудник,
заведующий лабораторией диффузии
ИФМ УрО РАН,
доктор технических наук, профессор



Попов Владимир Владимирович

Дата подписания отзыва: « 8 » июня 2021 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук

Почтовый адрес: 620108, г. Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, 18

Тел. +7 (343) 378-38-41

E-mail: vprov@imp.uran.ru

Людмила Попова В.В. заверено.
И.о. ученого секретаря ИФМ УрО РАН,
К.ф. - М.Н.

