

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

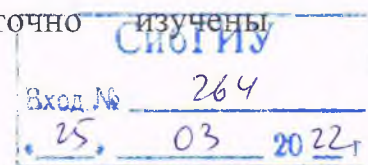
Исаенковой Маргариты Геннадьевны

на диссертационную работу **Арышенского Евгения Владимировича**
“Механизмы и закономерности формирования текстуры и свойств в деформируемых алюминиевых сплавах при рекристаллизации в процессах термомеханической обработки” представленную к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

1. Актуальность темы исследования.

Поликристаллические материалы, полученные пластической деформацией или аддитивными технологиями, отличаются ярко выраженной кристаллографической текстурой, которая полностью определяет анизотропию физико-механических свойств изделий. Важно отметить, что термическая обработка устраняет лишь металлографическую текстуру, в то время как кристаллографическая текстура в зависимости от протекающих в материале процессов, может рассеиваться, обостряться или изменяться принципиальным образом. Создание материалов с кристаллографической текстурой определенного типа, т.е. с наперед заданной анизотропией свойств, возможно лишь при наличии достоверной информации о закономерностях формирования текстуры на стадии пластической деформации и последующей термической обработки. Наличие дополнительных фаз способствует общему упрочнению материала, изменению критических сдвиговых напряжений в разных системах скольжения и двойникования, а, следовательно, может изменять и формирующуюся кристаллографическую текстуру. Это особенно важно для алюминиевых сплавов, где ориентировка зерна влияет не только на анизотропию, но на процесс рекристаллизации, определяя размеры вновь образующихся кристаллитов посредством механизма ориентированного роста.

В тоже время для алюминиевых сплавов отсутствует понимание механизмов и закономерностей формирования текстуры в процессах термомеханической обработки, которые мешают созданию методов её управлением и моделированием адекватной для всех алюминиевых сплавов. Среди них отсутствие сведений о количестве и размерах интерметаллидных частиц и субзерен их связи с зародышеобразованием при рекристаллизации и типе возникающих текстур. Кроме того, недостаточно изучены



закономерностей формирования текстур в реальных высокоскоростных процессах термомеханической обработки. В этой связи диссертационная работа Арышенского Евгения Владимировича, направленная на решение рассмотренных вопросов, является чрезвычайно актуальной.

2. Научная новизна исследования заключается в исследовании подвижности высокоугловых частиц, размера и количества интерметаллидных частиц и субзерен и механических свойств в зависимости от режимов термомеханической обработки в ряде деформируемых алюминиевых сплавов; в исследованиях влияния размеров интерметаллидных частиц и режимов термомеханической обработки на механизмы формирования текстуры при рекристаллизации, а именно доминирования того или иного типа зародышей новых зерен; в исследовании закономерностей формирования текстуры в деформируемых алюминиевых сплавах в реальных промышленных процессах термомеханической обработки; в разработке новой математической модели формирования текстуры позволяющей учитывать нелинейные законы кристаллографического упрочнения и использующая новые методы учета ориентированного роста во всех группах деформируемых алюминиевых сплавов.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций.

Достоверность полученных в работе результатов подтверждается использованием современного и прошедшего необходимую поверку оборудования, корректной постановкой и обработкой экспериментальных исследований с использованием методов математической статистики, использование хорошо зарекомендовавшей себя теории кристаллографической пластичности, а также сопоставления результатов расчета кристаллографической текстуры с использованием созданной модели с текстурой, формирующейся в листах при использовании реального промышленного оборудования.

4. Научная и практическая значимость состоит в исследовании влияния режимов термомеханической обработки на размер субзерен в деформированных сплавах 8011, 1565 ч, 1570 и 5182, подвижность

межзеренных границ в сплавах 1050, 8011, 3104, 5182, 1565ч и 1570, размер и количество интерметаллидных частиц в сплавах А5, 8011, 3104, 6016, 1565 ч, 1570, Д16 и В95, изучение механизмов зародышеобразования новых зерен на формирование текстурной композиции при рекристаллизации в сплавах 8011, 3104, 1565ч и 5182, а также исследования закономерностей формирования текстуры в листах при использовании реальных промышленных процессов термомеханической обработки сплавов 1050, 8011, 3104, 6016, 1565 ч и 1570. Практическая ценность работы состоит в создании промышленных режимов термомеханической обработки, разработанных для сплавов 1050, 8011, 3104, 6016, 1565 ч, общий экономический эффект от внедрения которых на АО “АркониК” СМЗ составил 57 млн. рублей и, кроме того, ожидаемый эффект на ЗАО “Сеспель” составляет 6 млн. рублей. Результаты диссертационного исследования также используются в учебном процессе Самарского университета и Фрайбергской горной академии и в научно-исследовательской работе СамНЦ РАН.

5. Анализ содержания диссертации.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов, списка литературы. Текст изложен на 327 страницах, включает 27 таблиц, 155 рисунков. Список использованной литературы содержит 279 наименований.

В первой главе проведен анализ источников, посвященных особенностям формирования текстуры в процессе деформации и рекристаллизации алюминиевых сплавов, также методов интерпретации результатов анализа текстурной композиции с помощью прямых полюсных фигур (ППФ) и функции распределения ориентировок (ФРО). Также выполнен подробный анализ подходов к моделированию текстур в процессе деформации и рекристаллизации.

Во второй главе описаны экспериментальные методы, применявшиеся в диссертационном исследовании: для анализа зеренной структуры использовался оптический микроскоп Axiovert 40; для изучения интерметаллидных включений применялись растровый электронный микроскоп (РЭМ) JEOL 6390A и электронный просвечивающий микроскоп Tescan G2 F20 S-TWIN TMP; структура субзерен и их размер дополнительно изучались с помощью TESCAN VEGA LMH; механические свойства

измерялись с помощью комплекса Gleeble 3800; для изучения механизмов формирования текстуры при рекристаллизации использованы образцы листов, полученных на прокатном стане; для исследования закономерностей эволюции текстуры при горячей деформации использовалось реальное промышленное оборудование.

В третьей главе представлено описание разработанной математической модели, позволяющей рассчитывать формирование текстуры в алюминиевых сплавах в процессах их термомеханической обработки. Модель состоит из двух частей, первая предназначена для расчета эволюции текстуры в процессе горячей деформации с использованием тейлоровского подхода. Её уникальность определяется возможностью использования нелинейных законов кристаллографического упрочнения. Вторая часть модели предназначена для расчетов процессов рекристаллизации, в частности, в ней предложен алгоритм, позволяющий рассчитывать процессы ориентированного роста. Приведено описание программного обеспечения, реализующего данную модель, и её верификация на реальном промышленном оборудовании.

В четвертой главе приведены результаты исследований влияния режимов термомеханической обработки на подвижность межзеренных границ («зернограницную мобильность»), количество и размер крупных первичных и мелкодисперсных вторичных интерметаллидных включений и субзерен, тип образующихся при рекристаллизации зародышей, а также механические свойства. Кроме того, рассмотрены особенности формирования послойной неоднородности кристаллографической текстуры заготовки в промышленных процессах термомеханической обработки и влияние на неё коэффициентов трения. Приведены результаты изучения закономерности эволюции текстуры в реальных промышленных процессах термомеханической обработки для сплавов 1050, 8011, 3104, 6016, 1565 ч и 1570.

В пятой главе приведены технологические рекомендации, позволяющие сформировать оптимальную кристаллографическую текстуру для достижения заданного уровня такой важной функциональной характеристики анизотропии, как фестонистость. Приведен экономический эффект, получаемый за счет внедрения предложенной технологии на АО «Аркони́к СМЗ» и ЗАО «Сеспель». Представлена информация об использовании

результатов диссертационного исследования в образовательном и научно-исследовательском процессах.

В заключении приведены основные выводы, полученные в диссертации.

6. Оформление диссертации.

Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК и ГОСТ Р 7.0.11-2011. Диссертация имеет единый стиль оформления, ее содержание написано хорошим научно-техническим языком и сопровождается красиво оформленными иллюстрациями, дополняющими основной текст. Автореферат также выполнен в соответствии с вышеупомянутыми требованиями ВАК и ГОСТ Р 7.0.11-2011, а его содержание полно и точно отражает материалы, изложенные в диссертационной работе. Стиль изложения оставляет хорошее впечатление.

7. Публикации.

По материалам диссертационной работы и результатам исследований опубликовано 107 научных работ (в числе которых 26 статей в журналах из перечня изданий, рекомендованных ВАК, и 37 – в Scopus и Web of Science), 3 базы данных, 3 программы для ЭВМ, 5 патентов на изобретение.

8. Соответствие диссертации паспорту специальности.

Содержание диссертации, её актуальность, научная новизна цели и задачи исследования, а также положения, выносимые на защиту соответствуют областям исследований паспорта научной специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния пп 1, 6 и 7 (п.1 Теоретическое и экспериментальное изучение физической природы свойств металлов и их сплавов, неорганических и органических соединений, диэлектриков и в том числе материалов световодов как в твердом, так и в аморфном состоянии в зависимости от их химического, изотопного состава, температуры и давления. п.6. Разработка экспериментальных методов изучения физических свойств и создание физических основ промышленной технологии получения материалов с определенными свойствами. п.7 – «Технические и технологические приложения физики конденсированного состояния»).

9. Замечания и вопросы по работе.

Среди замечаний к работе можно указать следующие:

1. В диссертации отсутствует описание метода расчета функции распределения зерен по ориентациям (ФРО) и анизотропии функциональных свойств алюминиевых сплавов. Не понятно, по каким экспериментальным данным проводился расчет ФРО.

2. При описании текстурных компонент для кубической сингонии в большинстве случаев достаточно указать расположение основных текстурных составляющих таких, как α -, β -, γ -волокон, текстуры куба, Госсса, меди и т.п., в сечении ФРО с углом $\varphi_2=45^\circ$. Однако автор предпочитает представлять сечения ФРО для всех φ_2 .

3. В настоящее время реализовано большое число программных продуктов по расчету текстур деформации и её изменения в результате отжига такие, как свободно распространяемые MTEX, DAMASK, VPSC и др., которые используют, в частности, тейлоровское приближение описания переориентации кристаллитов при пластической деформации и учитывают упрочнение материалов. Из текста диссертации не понятно, какие преимущества у разработанного диссертантом программного обеспечения.

4. Следовало бы использовать количественные данные и зависимости в большем объеме для раскрытия связи между закономерностями формирования текстуры в промышленных процессах термомеханической обработки с механизмами её формирования. Например, привести, графики, иллюстрирующие связь размеров субзерна и количества частиц второй фазы с долей рекристаллизованного объема в междеформационных паузах при прокатке сплавов 3104, 8011, 5182.

5. По тексту диссертационной работы следует отметить большое число туманных фраз и наименований, которые следовало бы заменить русскими синонимами, поскольку русский язык более разнообразен, нежели английский. Например, мобильность границ (в некоторых случаях превратившаяся в мольность) заменить на их подвижность, β -фибер – на β -волокно, количество текстур – на число текстурных компонент и т.д. Для понимания некоторых фраз таких, как «энергия активации движения зерен», «мобильность зерна», «исследовать как крупные интерметаллидные частицы, так и дисперсоиды»

(стр. 92), «в качестве образцов использовалась обрезь...» (стр. 100), требуются дополнительные пояснения.

10. Заключение.

Высказанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общую высокую оценку работы, которая имеет большую теоретическую и практическую ценность, что подтверждается актами внедрения на промышленных предприятиях, публикациями в журналах первого квартиля и патентами на изобретения. Основываясь на вышесказанном, считаю, что диссертационная работа Е.В. Арышенского отвечает требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям согласно п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней». В работе решена актуальная научно-техническая проблема формирования текстуры и повышенных функциональных свойств в деформируемых алюминиевых сплавах при рекристаллизации в процессах термомеханической обработки, имеющая важное хозяйственное значение для алюминиевой промышленности.

Автор диссертационной работы Арышенский Евгений Владимирович достоин присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния.

На обработку персональных данных согласна

Официальный оппонент,

доктор физико-математических наук, доцент  М.Г. Исаенкова

Дата подписания отзыва «16» марта 2022 г.

Исаенкова Маргарита Геннадьевна, доктор физико-математических наук, доцент по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, физико-математические науки, Профессор отделения ядерной физики и технологий офиса образовательных программ Института ядерной физики и технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

115409, г. Москва, Каширское ш., 31. Телефон: +7 (495) 788-56-99 доб. 9639

Email: MGIsaenkova@mephi.ru

Подпись удостоверяю
Заместитель начальника отдела
документационного обеспечения
НИЯУ МИФИ

