

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной и международной
деятельности ФГБОУ ВО «Алтайский
государственный технический универси-
тет им. И.И. Ползунова»,

профессор
А. Е. Свистула
— 2020 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
Иванова Ивана Владимировича «Применение методов дифракции синхро-
тронного излучения и математического моделирования для анализа структу-
ры титановых сплавов, формируемой при деформационном, термическом и
фрикционном воздействии», представленную к защите
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.16.09 – материаловедение (в машиностроении)

Актуальность темы диссертационной работы.

Представленная к защите диссертационная работа посвящена вопросам изучения структуры и свойств сплавов на основе титана. В настоящее время материалы этого типа широко востребованы в различных отраслях высокотехнологичного производства, в том числе в авиастроении, ракетостроении, нефтехимии, энергетическом машиностроении. Титановые сплавы используются для производства имплантатов и других изделий медицинского назначения. Высокие требования, предъявляемые к материалам, используемым при изготовлении изделий ответственного назначения, предполагают тщательный контроль их структуры на различных этапах производственного цикла. С учетом отмеченных обстоятельств тему диссертационной работы И.В. Иванова следует признать актуальной.

Структура и основное содержание работы.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка используемой литературы и шести приложений. Работа изложена на 186 страницах, содержит 67 рисунков и 10 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, описаны методы исследования, степень разработанности темы, научная новизна, практическая значимость научных результатов, выносимые на защиту положения, личный вклад диссертанта.

В первой главе представлен литературный обзор проблем, связанных с темой исследования. Особое внимание уделено анализу структурных преобразований, развивающихся при нагреве, охлаждении и пластической деформации титановых сплавов различного состава. В этом же разделе описаны методы структурных исследований материалов, в том числе используемые в работе методы дифракционного профильного анализа.

Во второй главе представлены данные о материалах и методах их исследования. Следует подчеркнуть, что в качестве объектов исследования автор использовал титановые сплавы различного химического состава. Такой подход позволил ему сделать заключение о поведении в условиях термического и деформационного воздействия широко спектра материалов.

В качестве основного метода исследований титановых сплавов в работе использована дифракция синхротронного излучения. Его важнейшей особенностью является возможность проведения рентгеноструктурных исследований в режиме *in situ*. Для проведения исследований автор использовал два современных источника синхротронного излучения – немецкого синхротрона DESY и международного синхротрона ESRF, расположенного в Гренобле (Франция). Сочетание методов дифракции синхротронного излучения и математического моделирования позволило автору с различных позиций обосновать детали тонких структурных преобразований, обусловленных деформацией и термическим воздействием на исследуемые материалы.

В третьей главе диссертационной работы показаны возможности использования методов дифракции синхротронного излучения на примере титановых сплавов, подвергнутых прокатке образцов в холодном состоянии. Диссертант показал, что наиболее достоверные результаты обеспечивает сочетание модифицированных методов Вильямсона – Холла и Уоррена – Авербаха. В этом же разделе приведены результаты анализа дисков из сплава системы Ti-Nb-Zr, деформированных методом кручения под высоким давлением. С использованием точных методов структурных исследований, в первую очередь, дифракции синхротронного излучения, диссертантом были выявлены деформационно индуцированные фазовые переходы, различным образом проявляющиеся в пластически деформированном диске. Полученные при этом результаты подтверждены методом просвечивающей электронной микроскопии. О высокой эффективности подходов, используемых в диссертационной работе, свидетельствуют также результаты исследования дислокационной структуры титанового стержня, подвергнутого высокоскоростной деформации методом Тейлора.

Результаты исследований, отраженные **в четвертой главе** диссертационной работы, позволяют сделать вывод о рациональности применения мето-

дов дифракции синхротронного излучения для изучения особенностей структурных преобразований, обусловленных процессами нагрева и охлаждения титановых сплавов. Основанием для этого служат экспериментальные данные, полученные при изучении структуры холоднодеформированного альфа-титанового сплава VT1-0 в процессе его индукционного нагрева, а также сплава системы Ti-Nb со структурой β -Ti.

Особого внимания заслуживают приведенные в пятой главе работы результаты структурных исследований образцов, подвергнутых трению скольжения. Объектом исследования являлся титановый сплав системы Ti-Fe со α + β структурой. Рентгеноструктурные исследования были выполнены в международном центре синхротронных исследований ESRF непосредственно в процессе трения.

В шестой главе приведены рекомендации по практическому использованию результатов проведенных исследований. Полученные И.В. Ивановым данные свидетельствуют о рациональности методических подходов к проблеме изучения структуры титановых сплавов, находящихся в различном исходном состоянии, с использованием методов дифракции синхротронного излучения.

В заключении приведены выводы по диссертационной работе и в кратком виде описаны перспективы дальнейшей разработки темы.

Обоснованность выводов, научных положений и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе, обеспечена использованием современных методов исследований, рациональным выбором аналитического оборудования, использованием взаимодополняющих методов для обработки результатов исследований, сопоставлением полученных результатов с данными других авторов. Результаты диссертационной работы апробированы на всероссийских и международных конференциях и изложены в 12 печатных работах.

Автореферат И.В. Иванова полностью соответствует содержанию диссертации и опубликованных им работ.

Полученные диссертантом результаты характеризуются научной новизной. Методами дифракции синхротронного излучения и математического моделирования выявлен ряд эффектов, отражающих поведение сплавов на основе титана в процессах нагрева, холодной прокатки, высокоскоростного нагружения, интенсивной пластической деформации. Так, например, экспериментально был зафиксирован характер неоднородного пластического стержня из технически чистого титана в процессе соударения его о неподвижную стальную преграду. Сделан важный вывод о циклическом накоплении и последующей аннигиляции дефектов кристаллической структуры об-

разцов из сплава системы Ti-Fe в процессе трения скольжения. Особого внимания заслуживает тот факт, что данные о структурных преобразованиях были получены непосредственно в процессе триботехнических испытаний материала. Полученные автором данные позволяют сделать вывод о том, что использование дифракции синхротронного излучения представляет собой один из наиболее рациональных подходов к изучению структуры сплавов на основе титана при реализации быстропротекающих процессов.

Практическая значимость работы определяется комплексом полученных при ее выполнении результатов. И.В. Иванов участвовал в проектировании и создании уникальной, не имеющей аналогов, триботехнической установки, обеспечивающей возможность проведения испытаний материалов на трение скольжения в сочетании с рентгеноструктурными исследованиями. Установка создана в рамках проекта, выполняемого в Международном исследовательском центре ESRF. В настоящее время установка эксплуатируется в синхротронном центре в Гренобле. Полученные на ней данные представляют практический интерес с точки зрения объяснения процессов структурных преобразований, развивающихся в процессе трения.

С учетом полученных в работе данных диссертантом разработаны рекомендации по использованию методов дифракции синхротронного излучения при изучении структуры сплавов на основе титана. Обоснованные в диссертации рекомендации наиболее востребованы в организациях, связанных с необходимостью оперативного получения информации о глубоких структурных преобразованиях в титановых заготовках при термическом и деформационном воздействии.

По работе сделаны следующие замечания:

1. Из текста диссертации не понятно, почему разброс значений радиуса области упругих искажений дислокаций и параметра Вилкенса при низких температурах существенно ниже по сравнению с высокотемпературными областями (рисунок 4.6 б, в).

2. В работе приводится результат триботехнических испытаний сплава системы Ti-Fe в условиях сухого трения скольжения. Однако, с практической точки зрения более высокую ценность представляют испытания в присутствии смазки.

3. Не понятно из каких соображений в качестве объекта исследования при проведении триботехнических испытаний были выбраны образцы системы титан-железо. Прикладного значения данная система в настоящее время не нашла.

4. При проведении профильного анализа сплавов на основе титана автор анализирует классический метод, а также модифицированные методы Виль-

ямсона – Холла и Уоррена – Авербаха. Делая явный вывод о преимуществах модифицированных методов, диссертант не делает четких различий в достоинствах каждого из модифицированных методов профильного анализа.

5. В качестве наиболее рационального метода изучения структурных преобразований в титановых сплавах, в первую очередь, в режиме реального времени, диссертант рекомендует метод дифракции синхротронного излучения. Следует, однако, учитывать, что, обладая несомненными достоинствами, указанный метод не может иметь широкого распространения в связи с огромной стоимостью источников синхротронного излучения.

Следует отметить, что указанные замечания не снижают ценность и значимость диссертационной работы.

Соответствие содержания диссертации указанной специальности

По своим целям и задачам, содержанию, методам исследования, новизне, практической значимости и выводам диссертация соответствует пунктам 1, 6 и 8 паспорта научной специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении).

Заключение.

Диссертационная работа Иванова Ивана Владимировича «Применение методов дифракции синхротронного излучения и математического моделирования для анализа структуры титановых сплавов, формируемой при деформационном, термическом и фрикционном воздействии», выполнена на актуальную тему, связанную с разработкой рациональных подходов к проблеме изучения титановых сплавов, соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития материаловедения в части контроля структурных преобразований в изделиях из титановых сплавов на различных этапах производства, переработки и эксплуатации. Учитывая изложенное, считаем, что автор работы, Иванов И.В. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (в машиностроении).

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден на научном семинаре Производственного внедренческого комплекса прикладных исследований и разработок (ПВКПИИР) и Проблемной научно-исследовательской лаборатории самораспространяющегося высокотемпературного синтеза им. В. В. Евстигнеева Федерального государственного бюджетного образовательного

учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова» 17 ноября 2020 г., протокол № 3.

Председатель семинара, директор Производственного внедренческого комплекса прикладных исследований и разработок Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», доктор технических наук, профессор Ситников А. А. _____

Секретарь семинара, старший научный сотрудник Проблемной научно-исследовательской лаборатории самораспространяющегося высокотемпературного синтеза им. В. В. Евстигнеева Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова» кандидат технических наук Собачкин А. В. _____


Дата подписания отзыва «18» ноября 2020 г.


Подписи Ситникова А. А. и Собачкина А. В. заверяю:

Ученый секретарь Ученого университета им. И. Головина Татьяна Ана _____

Служебный адрес:

656038, Алтайский край, г. Барнаул, проспект Ленина, д. 46, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел. +7 (3852) 290-710, E-mail: altgtu@list.ru, официальный сайт организации <https://www.altstu.ru/>

Воступил в силу 01.12.2020  Головина Т.А.

С отзывом ознакомлен 02.12.2020  Собачкин А.В.