

## УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по научной работе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН)

доктор технических наук

В.С. Юсупов

«24 марта» 2026 г.



## ОТЗЫВ

### ведущей организации на диссертационную работу

Давдяна Григория Сергеевича «Исследование объёмных и зернограничных фазовых превращений в сплавах титана при больших деформациях», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния

### Актуальность работы

Представленная диссертационная работа посвящена твердофазным зернограничным переходам и образованию метастабильной фазы высокого давления  $\omega$ -Ti при интенсивной пластической деформации в титановых сплавах. Несмотря на глубокую изученность титана, рассмотренные в работе фазовые превращения оставались малоизученными. Титановые сплавы широко используются во многих промышленных отраслях, а технологический прогресс приводит ко всё возрастающим требованиям к этим сплавам. Таким образом, применение методов «дизайна» границ зёрен посредством зернограничных фазовых превращений и использование новых методик обработки материала, направленных на формирование метастабильной микроструктуры, путём интенсивной пластической деформации являются весьма актуальными и представляют практическую ценность для получения новых материалов.

### Научная новизна исследования

 заключается в следующем:

1. Определены температуры начала и конца зернограничного фазового перехода смачивания в сплавах Ti-6V и Ti-8V. Установлено, что упрочненные образцы, в которых отсутствуют полностью смоченные прослойки, ведут себя непластично, тогда как те, в которых имеются полностью смоченные прослойки – пластично.
2. В сплаве Ti-4Fe обнаружено, что в состоянии близком к ультрамелкозернистому фазовый переход смачивания «меняет знак».
3. Впервые подтвержден и исследован зернограничный фазовый переход смачивания в многокомпонентных сплавах TiZrHfMoCr и TiZrHfMoCrCo. Показано, что фазы Лавеса C15 полностью и не полностью смачиваются прослойками ОЦК фазы A2.
4. В работе было установлено, что слабоупрочнённые материалы хуже измельчаются и могут не иметь радиальной однородности после кручения под высоким

давлением (КВД), по сравнению с сильноупрочненными материалами при одинаковых параметрах обработки.

5. Линейное повышение второго компонента ванадия в составе сплава приводит к линейному снижению образования метастабильной фазы  $\omega$ -Ti в процессе КВД, что приводит к снижению предела прочности и модуля упругости материалов.

6. Показано, что доля  $\omega$ -Ti фазы после КВД в сплавах с изоморфным  $\beta$ -стабилизатором ванадием зависит от фазового состава образца до КВД.

7. На примере сплавов TiZrHfMoCr и TiZrHfMoCrCo впервые показано, что в процессе КВД фазовый состав многокомпонентных сплавов может сильно изменяться без изменения морфологии микроструктуры.

**Практическая значимость работы** заключается в определении влияния зернограничного фазового перехода смачивания на пластичность титановых сплавов, а также в выявлении сильного эффекта упрочнения метастабильной фазой  $\omega$ -Ti и значительного повышения модуля Юнга данной фазой в титановых сплавах. Для улучшения механических свойств результаты исследований могут быть использованы компаниями, занимающимися титановыми сплавами, такими как ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА», АО «Уральский завод цветной металлургии» и ООО «Научно-производственная фирма „Титан-Аэро“». Дальнейшее развитие полученных результатов для получения наноструктурных материалов может быть продолжено в структурном подразделении ФГБОУ ВО «УГАТУ» «Научно-исследовательский институт физики перспективных материалов».

**Достоверность** научных результатов работы подтверждается использованием в работе аттестованного, современного оборудования, выполнением достаточного количества повторений измерений и согласованностью полученных в работе данных. Результаты работы были рецензированы и опубликованы в печатных международных журналах.

#### **Структура и объем диссертационной работы.**

Работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка публикаций автора и списка использованной литературы. Первая глава посвящена актуальности работы и современному состоянию исследуемой в работе темы. В главе рассматриваются фазовые превращения в титане, особенности многокомпонентных сплавов, много внимания уделено применяемой в работе методике интенсивной пластической деформации кручения под высоким давлением. Вторая глава посвящена использованным в работе методикам и оборудованию. Приведены используемые в работе сплавы и методы их получения, описаны методы термической и механической обработки материалов. Описаны использованные в работе методы исследований, а также методы измерений механических свойств. Третья глава посвящена исследованиям зернограничных фазовых превращений. Описаны полученные результаты и приведены анализ и обсуждение результатов. Четвертая глава посвящена результатам исследованных объемных фазовых превращений при кручении под высоким давлением. Показано, что радиальная однородность и измельчение материала зависит от его исходной микроструктуры до КВД. Выявлены закономерности образования метастабильной фазы  $\omega$ -Ti при КВД сплавов титана с изоморфными  $\beta$ -стабилизаторами. Суммарный объем диссертационной работы составляет 98 страниц, 77 рисунков, 14 таблиц. Список литературы содержит 110 наименований.

#### **Замечания по диссертационной работе**

1. В диссертации на с. 73 использован термин «квазипластичный». Этот термин не является устоявшимся для обозначения того поведения материалов, которое наблюдается на приводимых автором работы графиках нагружения со стабильным распространением трещины с последующей пластической деформацией.

2. В работе приведены значения микротвердости сплава TiZrHfMoCrCo до и после кручения под высоким давлением (КВД). На полученной гистограмме (с. 84) приведены данные, полученные с нагрузкой 200 г и 10 г. На этой гистограмме видно, что после КВД твердость отдельных фаз уменьшилась (нагрузка 10 г), однако объемная твердость практически не изменилась (нагрузка 200 г). В работе не приведены объяснения того, с

чем это связано, и почему при падении твёрдости отдельных фаз общая твёрдость не изменилась.

3. На с. 61 приведены графики величины крутящего момента в процессе КВД, имеющие осцилляции с периодом около одного оборота. В диссертации не объясняется, чем вызваны такие колебания крутящего момента.

4. Показанные на с. 58 фотографии после отжига при 750°C похожи на микроструктуру мартенсита, такая структура может сильно сказываться на механических свойствах материалов, исследованных в работе, однако автор это обстоятельство никак не обсуждает.

Приведённые замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования.

### **Заключение**

Диссертация «Исследование объёмных и зернограничных фазовых превращений в сплавах титана при больших деформациях» является законченной научно-квалификационной работой. В работе представлены новые научные результаты, которые имеют как научный, так и практический интерес. Работа соответствует специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния. Результаты диссертационной работы опубликованы в семи печатных работах, которые входят в международные базы данных, российский Белый список и список ВАК РФ. Автореферат и публикации соответствуют содержанию диссертации.

Работа соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС», а её автору, Давдян Г.С., может быть присвоена ученая степень кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Работа рассмотрена и обсуждена в ИМЕТ РАН на заседании Секции Учёного совета по металлостроению и металлофизике 27 марта 2026 г, протокол №2/26. Отзыв составлен на основании диссертации, автореферата, публикаций и доклада Давдяна Г.С.

На заседании присутствовало 18 членов Секции из 25.

Результаты голосования: «за» – 18, «против» – нет, «воздержавшихся» – нет.

Председатель секции  
чл.-корр. РАН



Банних И.О.

Секретарь секции  
к.т.н.



Харин Е.В.

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова  
Российской академии наук (ИМЕТ РАН)  
Адрес: 119334, г. Москва, Ленинский проспект, 49  
Телефон: +7 (499) 135-20-60  
Адрес электронной почты: imet@imet.ac.ru  
Сайт: <https://www.imet.ac.ru/>