



ТОЛЬЯТТИНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



«УТВЕРЖДАЮ»

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

(ТГУ)

ОКПО 55914968
ОГРН 1036300997567
ИНН 6320013673
КПП 632401001

Белорусская ул., 14, г. Тольятти,
Самарская обл., 445020
Телефоны: (8482) 44-94-44, 44-94-24
Факс (8482) 37-85-89
E-mail: office@tltsu.ru
<https://www.tltsu.ru>



Ректор ФГБОУ ВО «Тольяттинский
государственный университет»,
д.ф.-м.н., профессор

Криштал М.М.

30.10. 2025 г.

30.10.2025

№ 029182

на № _____ от _____

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Аксенова Дениса Алексеевича на тему «Немонотонное изменение структуры и физико-механических свойств при кручении под высоким давлением сплава Cu-0.6Cr-0.1Zr» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.6.6 Нанотехнологии и наноматериалы

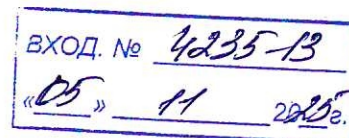
Актуальность избранной темы

На сегодняшний день низколегированные электропроводные бронзы системы Cu-Cr-Zr, представляют собой перспективные конструкционные материалы, сочетающие высокие показатели прочности и электропроводности. Благодаря применению методов интенсивной пластической деформации в этих материалах удается получать наноструктурированные состояния, обладающие уникальным комплексом физико-механических свойств.

Поскольку закономерности воздействия кручения под высоким давлением на сплав Cu-Cr-Zr остаются мало исследованными, то актуальность темы диссертационного исследования Д.А. Аксенова является очевидной поскольку анализ и идентификация механизмов основных структурно-фазовых процессов в используемом процессе интенсивной пластической деформации позволит оптимизировать параметры деформационной обработки и достичь повышенного комплекса эксплуатационных свойств.

Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

В процессе выполнения диссертационного исследования были получены следующие новые результаты:



1. Установлен *стадийный* характер трансформации структуры сплава Cu-0,6Cr-0,1Zr, имеющем в исходном состоянии ансамбль крупных частиц и низкую концентрацию твердого раствора, причем на первой стадии (степень деформации $\epsilon \approx 70$) происходило преимущественно механическое измельчение исходных частиц вторых фаз, на второй стадии (степень деформации $\epsilon \approx 110$) происходило преимущественно растворение частиц вторых фаз с формированием пересыщенного твердого раствора, а на третьей стадии (степень деформации $\epsilon > 125$) происходило динамическое старение с распадом пересыщенного твердого раствора.

2. В сплаве Cu-0,6Cr-0,1Zr установлена зависимость электропроводности и механических характеристик от накопленной степени деформации при кручении под высоким давлением, отличающаяся от ранее опубликованных работ тем, что изменение данных характеристик в процессе кручения под высоким давлением происходит немонотонно и определяется обнаруженными закономерностями структурно-фазовых превращений частиц вторых фаз.

3. Разработана феноменологическая модель структурно-фазовых превращений в сплаве Cu-0,6Cr-0,1Zr, объясняющая их немонотонное изменение в процессе кручения под высоким давлением для исходно состаренного состояния с ансамблем крупных частиц.

Значимость для науки и производства (практики) полученных автором диссертации результатов

Значимость полученных автором диссертации результатов заключается в том, что установлена роль интенсивной пластической деформации при фазовых превращениях в исследуемом сплаве Cu-0,6Cr-0,1Zr.

Из полученных данных следует, что наиболее вероятным основным механизмом деформационно-индуцированного растворения вторых фаз в сплавах данной системы является эффект Гиббса-Томсона, заключающийся в изменении радиуса кривизны частиц и соответственно поверхностной энергии. Таким образом, растворение исходных частиц вторых фаз в процессе деформации может позволить получить более высокую степень пересыщенности твердого раствора, что в свою очередь при старении приведет к повышению величины дисперсионного упрочнения, а также достижению повышенных значений электропроводности.

Полученные результаты могут быть рекомендованы к использованию в производстве и реальном секторе экономики при разработке и оптимизации новых технологических процессов получения наноструктурированных материалов с улучшенными свойствами с использованием принципов интенсивной пластической деформации.

Основные положения, результаты и выводы диссертационной работы могут быть использованы при выполнении научно-исследовательских работ и в учебном процессе таких организаций, как Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Институт металлургии им. А. А. Байкова, Институт физики твердого тела РАН, Физико-технический институт УрО РАН, Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН, Санкт-Петербургский государственный технический университет, Институт физики металлов УНЦ РАН.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений обеспечена непротиворечивостью результатов с основными закономерностями,

выявленными при анализе литературных данных, применением современных методов и средств исследования, публикацией основных результатов в рецензируемых научных журналах, их обсуждением на ведущих российских и международных конференциях.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом

Диссертация Аксенова Д.А. состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 120 страницах, содержит 44 рисунка и 7 таблиц. Библиография включает 160 наименований. В целом, диссертация является законченным научным трудом с четко обозначенными целями и задачами, и их обоснованным решением в процессе выполненного диссертационного исследования.

Замечания по работе

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1). В разделе 2.12 нет сведений о том, в какой конкретно области образцов проводились замеры микротвердости;

2). В разделе 2.13 сказано, что наряду с прочностными характеристиками образцов определялись характеристики пластичности: относительное удлинение и относительное сужение, однако в тексте диссертации нет никаких сведений об этих результатах, кроме того, для плоских образцов согласно ГОСТ 1497-84 относительное сужение вообще нельзя определять;

3). На стр. 78 диссертационной работы приведен рисунок 3.21 на котором представлено явно выраженное уменьшение микротвердости и предела прочности исследуемого материала на шестом обороте кручения под высоким давлением. На следующих оборотах значения микротвердости и предела прочности восстанавливаются до прежних значений. Несмотря на исчерпывающие объяснения, приведенные автором, хотелось бы уточнить: разрабатывалась ли какая либо аналитическая модель, объясняющая данное явление и предсказывающая величину падения механических характеристик на определенном обороте кручения под высоким давлением?

4). В теории упрочнения сейчас активно развивается подход, что складывать механические напряжения для учета разных вкладов не всегда корректно. Для твердорастворного упрочнения это справедливо. А вот для дислокационного упрочнения - нет, поскольку механическое напряжение нелинейно зависит от дислокационной плотности, а именно она складывается линейно в случае ее роста. Поэтому формула (3.12) на стр. 80 диссертационной работы не совсем верна, если одновременно учитывает дислокационное и твердорастворное упрочнение. Необходимо пояснить почему в этом случае все-таки можно складывать напряжения и это не приводит к существенной ошибке при сопоставлении с экспериментальными результатами?

Данные замечания не являются критическими, а скорее дискуссионными, которые являются рекомендацией к развитию результатов, полученных в диссертационной работе. Они не оказывают влияние на основные выводы диссертационной работы и положения, вынесенные на защиту.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации. Подтверждения опубликованных основных результатов диссертации в научной печати

Анализ текста автореферата показал, что автореферат полностью соответствует содержанию диссертации, при этом автореферат содержит все необходимые иллюстрации, таблицы и формулы, которые необходимы для понимания основных положений и

выводов представленной диссертационной работы. Результаты диссертационной работы опубликованы в 8 статьях в профильных рецензируемых изданиях, 6 из которых из перечня ВАК и 2 из перечня Scopus, а также прошли хорошую апробацию на профильных конференциях различного уровня.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

По научному уровню полученных результатов, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденных Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции Постановления Правительства РФ от 25.01.2024 г. № 62), а ее автор Аксенов Денис Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы.

Отзыв ведущей организации на диссертационную работу Аксенова Дениса Алексеевича «Немонотонное изменение структуры и физико-механических свойств при кручении под высоким давлением сплава Cu-0.6Cr-0.1Zr» рассмотрен на расширенном научном семинаре Научно-исследовательского института прогрессивных технологий Тольяттинского государственного университета, протокол № 5 от 25.09.2025 года. Отзыв подготовлен доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником научно-исследовательского института прогрессивных технологий Тольяттинского государственного университета Ясниковым Игорем Станиславовичем.

Председатель семинара:

доктор физико-математических наук,
профессор, директор Научно-исследовательского института прогрессивных технологий Тольяттинского государственного университета



Мерсон Дмитрий
Львович

Ученый секретарь семинара:

доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского института прогрессивных технологий Тольяттинского государственного университета



Ясников Игорь
Станиславович

Сведения об организации: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тольяттинский государственный университет» (ТГУ).
Почтовый адрес: 445020, Россия, Самарская область, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14.
Телефон: +7 (8482) 44-94-24
Адрес электронной почты: office@tltsu.ru
Сайт организации: <https://www.tltsu.ru>