

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Саркеевой Елена Александровны «Повышенные функциональные свойства холоднокатаных наноструктурных дисперсионно-твердеющих медных сплавов систем Cu-Cr и Cu-Cr-Zr», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы.

Интерес к дисперсионно-твердеющим медным сплавам систем Cu-Cr и Cu-Cr-Zr обусловлен их широким применением в различных отраслях промышленности, где востребовано оптимальное сочетание высоких механических, функциональных и физико-химических характеристик. Однако интенсивное развитие современных технологий предъявляет к данным материалам все более жесткие требования, что стимулирует поиск новых подходов к управлению их структурой и свойствами. В последние годы существенно возрос интерес как зарубежных, так и отечественных исследователей к изучению влияния классических методов деформационной обработки, включая холодную прокатку, на микроструктуру и эксплуатационные характеристики сплавов, находящихся в наноструктурном состоянии.

Установлено, что комбинирование методов интенсивной пластической деформации (ИПД) с традиционными деформационными технологиями является перспективным направлением повышения свойств медных сплавов. Изменение напряжённо-деформированного состояния при переходе от РКУП к холодной прокатке способствует активации дополнительных систем скольжения дислокаций и двойникования. Это приводит к увеличению плотности дислокаций и двойников, что положительно отражается на прочности материала, хотя и оказывает ограниченное влияние на электропроводность. Вместе с тем ключевую роль в формировании комплекса свойств играют процессы старения, определяемые кинетикой распада пересыщенного твердого раствора и образованием наноразмерных частиц вторичных фаз. В этом контексте работа Саркеевой Е. А., направленная на достижение оптимального сочетания прочности, пластичности и электропроводности путем целенаправленного формирования наноструктурного состояния в дисперсионно-твердеющих сплавах Cu-Cr и Cu-Cr-Zr, обладает высокой актуальностью.

Поставленные в исследовании задачи и сформулированные выводы полностью соответствуют содержанию диссертационной работы, её научной новизне и положениям, выносимым на защиту. Полученные автором результаты расширяют представления о механизмах упрочнения и могут быть использованы при разработке и оптимизации технологических процессов

ВХОД. № 4443-13
«18» 11 2015 г.

получения листовых и ленточных полуфабрикатов с рациональным сочетанием прочности и электропроводности.

К числу наиболее значимых достижений следует отнести выявление закономерностей формирования наноструктурного состояния в образцах, подвергнутых РКУП, холодной прокатке и старению, на основе которых разработана феноменологическая модель эволюции наноструктуры. Предложенная модель может служить инструментом прогнозирования структуры и свойств изделий из медных сплавов при регламентированных требованиях к механическим характеристикам и электропроводности.

В качестве замечаний можно отметить следующее:

Замечания общего характера:

1. В автореферате отсутствуют электронограммы и/или дифрактограммы, на основе которых проводилась идентификация преципитатов и определение параметров тонкой структуры исследуемых медных сплавов. Также не представлены результаты ДОРЭ исследований, на основании которых был определен тип и расчет доли границ зерен.
2. В тексте автореферата (например, на стр. 13) не приведены расшифровки некоторых используемых обозначений величин, таких как σ_{Op} , $\sigma_{ГЗ}$, $\sigma_{дис}$, $\sigma_{ТР}$. Также отсутствуют расшифровки символов e , IACS, ρ , k и других. Некоторые единицы измерений величин, в частности электропроводности и удельного электрического сопротивления (стр. 15), не приведены в системе СИ.

Частные замечания:

3. На странице 10, рисунок 4а демонстрирует, что прокатка образцов, предварительно подвергнутых 1-2 проходам РКУП, более эффективно измельчает ОКР (т.е. при малых степенях e накопленной деформации). К примеру, 8 проходов РКУП ($e \sim 9,2$) приводит к уменьшению размера ОКР до 123 нм, тогда как режим «1 проход РКУП + 95% ХП» (суммарная e равна $\sim 4,65$) измельчает размер ОКР до ~ 70 нм. Почему комбинированная обработка с меньшей суммарной деформацией приводит к значительно более сильному измельчению структуры по сравнению с многопроходным РКУП?
4. Стр. 11. Почему введение 0,2 масс.% циркония в медный сплав (Cu-0,5Cr) способствовало формированию меньшего среднего размера зерна и достижению более высокой плотности дислокаций? Требуется обосновать роль легирующего элемента Zr в процессах измельчения структуры и накопления дислокаций при формировании в сплаве УМЗ структуры.
5. Стр. 13. Утверждается «Для сплава Cu-0,5Cr-0,2Zr наряду с упрочнением, связанным с наночастицами и составляющим $\sim 29-41\%$, ощутимый вклад вносят дислокации (34...40%). Аналогично, как и для сплава Cu-0,5Cr, зернограницный вклад составляет 15...16% независимо от степени деформации». В то же время в литературе (Bodyakova A., Tkachev M., Raab G.I.,

Kaibyshev R., Belyakov A.N. (2022). Materials. 15(16). 5745) утверждается, что упрочнение в сплаве Cu-Cr-Zr в основном обеспечивается за счет зернограницного и дислокационного механизмов упрочнения, а не за счет вклада наночастиц как преобладающего. Требуется объяснить, с чем связаны такие расхождения в оценке относительного вклада различных механизмов упрочнения между результатами данного автореферата и результатами, представленными в вышеуказанном литературном источнике.

Диссертационная работа «Повышенные функциональные свойства холоднокатаных наноструктурных дисперсионно-твердеющих медных сплавов систем Cu-Cr и Cu-Cr-Zr» выполнена на высоком уровне и соответствует требованиям ВАК к кандидатским диссертациям, а соискатель Саркеева Елена Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы.

Даю свое согласие на обработку персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Доктор физико-математических наук,

Старший эксперт

Ситдигов Виль Даянович

17 ноября 2025 г.

Докторская работа защищена по специальности 05.16.08 – Нанотехнологии и наноматериалы

Контактная информация:

450006, г. Уфа, ул. Ленина, д. 86/1

ООО «РН-БашНИПИнефть»

Тел.: +7 (347) 293-60-10

e-mail: SitdikovVD@bnipi.rosneft.ru

