

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной и инновационной
деятельности федерального государственного
автономного образовательного учреждения

высшего образования «Белгородский
государственный национальный
исследовательский университет»

д.т.н., профессор И. С. Константинов



_____ 2018 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Шаньгиной Дарьи Владимировны «Закономерности получения ультрамелкозернистых медных сплавов с повышенными прочностными и эксплуатационными свойствами», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 15.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Актуальность темы исследования

Диссертационная работа Шаньгиной Д.В. посвящена исследованию структуры, механических и эксплуатационных свойств низколегированных медных сплавов, подвергнутых интенсивной пластической деформации (ИПД) и термической обработке. Сплавы, используемые для производства электродов контактной сварки, теплообменников и контактных проводов для токосъемников, должны обладать хорошей электропроводностью, высокими механическими свойствами, усталостной долговечностью и износостойкостью. В настоящее время для этих целей используются хромовые и хромоциркониевые дисперсионно-твердеющие медные сплавы. Однако более перспективными представляются гафниевые и хром-гафниевые дисперсионно - упрочняемые бронзы. При этом для увеличения стойкости электродов и повышения их долговечности требуется также оптимизация режимов их термической и термомеханической обработки.

В настоящей работе вместо традиционных схем холодной деформации предложено использовать методы интенсивной пластической деформации (ИПД), которые позволяют значительно повысить прочность медных сплавов за счет формирования ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры. Предполагается, что выделение частиц второй фазы в ходе последующей термической обработки (старения) будет приводить к дополнительному увеличению прочности и повышению термической стабильности

формирующихся структур. Кроме того, за счет распада пересыщенного твердого раствора можно ожидать повышения тепло- и электропроводности сплавов.

Таким образом, установление закономерностей влияния легирования, параметров деформации и предварительной термической обработки на свойства дисперсионно-твердеющих медных сплавов после ИПД и разработка на этой основе методов улучшения комплекса их механических и эксплуатационных свойств является **актуальной задачей**, как с научной, так и с практической точки зрения.

Основной целью настоящей работы является исследование влияния легирования и интенсивной пластической деформации на структуру и свойства дисперсионно - твердеющих сплавов на основе меди с целью получения ультрамелкозернистых (УМЗ) бронз с высокими прочностными и эксплуатационными свойствами.

Для достижения указанной цели автор диссертации последовательно решила ряд важных задач:

- Исследование влияния легирования и режима предварительной термической обработки на структуру, микротвердость, электропроводность и термическую стабильность упрочнения сплавов Cu(Cr, Zr, Hf) после кручения под высоким давлением (КВД).

- Изучение влияния деформации методом равноканального углового прессования (РКУП) на структуру, текстуру, электропроводность, механические свойства при растяжении и кинетику старения сплавов Cu(Cr, Zr, Hf).

- Определение параметров старения для получения оптимального сочетания прочностных свойств и электропроводности сплавов после РКУП.

- Исследование влияния интенсивной пластической деформации на износостойкость и усталостную долговечность сплавов на основе меди.

- Исследование стойкости электродов контактной сварки, изготовленных из крупнокристаллического и ультрамелкозернистого сплава на основе меди.

Структура и основное содержание диссертации

Содержание и структура диссертации логически едины и соответствуют поставленной цели исследования. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов и списка литературы из 139 наименования. Работа изложена на 142 страницах, содержит 74 рисунка и 14 таблиц.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертационной работы, сформулированы цель, задачи, научная новизна и практическая значимость.

В первой главе представлен аналитический обзор литературы по теме диссертационной работы, в котором рассмотрены известные данные о структуре, кинетике старения, механических свойствах, электропроводности и усталостной долговечности низколегированных дисперсионно-твердеющих сплавов на основе меди после различных

методов ИПД. Рассмотрены основные принципы легирования сплавов для получения заданного комплекса свойств.

Во второй главе содержится описание методов получения, обработки и исследования использованных в работе материалов. Следует отметить, что в работе используется широкий спектр достоверных и взаимодополняющих методов исследования.

В третьей главе приведены результаты исследования структуры и свойств медных сплавов после деформации методом КВД. Проведен анализ влияния предварительной термической обработки (закалка или отжиг), легирования (Cr, Zr, Hf, Cr + Zr, Cr + Hf). Установлено, что применение предварительной закалки позволяет получить более высокую микротвердость после КВД, а также в ходе последующего старения, по сравнению с отжигом. Показано, что старение после КВД позволяет повысить электропроводность сплавов за счет выделения частиц Cr, Cu₅Zr и Cu₅Hf, при этом частицы Cu₅Zr/Cu₅Hf приводят к дополнительному упрочнению и более эффективно стабилизируют УМЗ структуру при нагреве, по сравнению с частицами Cr. Продемонстрировано, что в ряду сплавов Cu-0,7%Cr, Cu-0,18%Zr, Cu-0,9%Hf, Cu-0,8%Cr-0,19%Zr и Cu-0,7%Cr-0,9%Hf после КВД возрастают уровень микротвердости и температура начала разупрочнения.

В четвертой главе рассмотрены результаты изучения структуры и свойств образцов, подвергнутых РКУП. Полученные зависимости по влиянию легирования согласуются с данными для сплавов после КВД, приведенными в главе 3. Так, было показано, что легирование двойной хромовой бронзы гафнием приводит к уменьшению размера зерен/субзерен, увеличению доли большеугловых границ, формированию более рассеянной текстуры и увеличению термической стабильности упрочнения с 450 до 500 °С в сплаве после РКУП. Установлено влияние РКУП на кинетику старения сплавов: температура выделения частиц Cr практически не изменяется, в то время, как частицы Cu₅Hf начинают выделяться при температуре на ~ 150 °С ниже, чем в исходном закаленном сплаве. Установлены режимы старения сплавов после РКУП для получения одновременно хорошей электропроводности и прочности.

В пятой главе представлены результаты исследования эксплуатационных свойств УМЗ сплавов на основе меди после деформации методами КВД и РКУП. Продемонстрировано положительное влияние УМЗ структуры на износостойкость и усталостную долговечность исследуемых материалов. Показано повышение стойкости опытных образцов электродов контактной сварки, изготовленных из УМЗ сплава Cu-Cr-Hf по сравнению с крупнокристаллическим состоянием.

В заключении приведены основные выводы по диссертационной работе.

Новизна полученных результатов

Научную новизну диссертационной работы составляют следующие результаты:

- Установлены закономерности влияния легирующих элементов (Cr, Zr, Hf, Cr + Zr, Cr + Hf) и режимов предварительной термической обработки (закалка или отжиг) на структуру, термическую стабильность упрочнения и микротвердость сплавов после деформации методом КВД. Показано, что выделяющиеся при старении частицы $\text{Cu}_5\text{Zr}/\text{Cu}_5\text{Hf}$ в сплаве, легированном цирконием и гафнием, приводят к дополнительному упрочнению и более эффективно стабилизируют ультрамелкозернистую структуру при нагреве, повышая ее термическую стабильность, по сравнению с частицами Cr.

- Впервые проведено исследование структуры и свойств низколегированных сплавов систем Cu-Hf, Cu-Cr-Hf после ИПД. Показана эффективность легирования гафнием вместо циркония для получения более дисперсной структуры и повышении механических свойств сплавов.

- Показана возможность повышения износостойкости и усталостной долговечности сплавов системы Cu-Cr-Zr с УМЗ структурой по сравнению с исходным крупнокристаллическим состоянием.

- Установлено положительное влияние УМЗ структуры сплавов на стойкость электродов контактной сварки в ходе модельных испытаний. Относительное уширение рабочей поверхности электрода, изготовленного из сплава Cu-Cr-Hf после равноканального углового прессования и старения в 5,3 (после 2000 циклов сварки) и 3,5 (после 4000 циклов сварки) раза меньше, чем в случае исходного крупнокристаллического сплава.

Практическая значимость результатов, полученных автором диссертации

Разработанные режимы обработки сплава Cu-Cr-Hf для получения одновременно высокой прочности, электропроводности и усталостной долговечности позволяет повысить стойкость электродов, изготовленных из исследуемого материала, что положительно отразится на производительности процесса сварки, качестве и надежности сварного соединения. Практическая значимость работы подтверждается наличием патента на изобретение №2585606 «Способ обработки низколегированных медных сплавов».

Степень достоверности результатов исследования Достоверность полученных результатов подтверждается использованием передовых методов исследования, публикацией основных результатов работы в реферируемых научных журналах, входящих в международные базы цитирования WOS и Scopus и в перечень журналов рекомендованных ВАК, а также обсуждением результатов на российских и международных научных конференциях.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты выполненных исследований могут быть использованы при разработке высокопрочных и электропроводных медных сплавов электротехнического назначения.

Диссертационная работа написана ясным языком и аккуратно оформлена, содержит большое количество иллюстративного материала хорошего качества, что позволяет оценить объем выполненных исследований.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации и соответствует основным ее положениям.

Основные результаты, полученные в рамках решения задач диссертационной работы представлены в 18 статьях в рецензируемых изданиях. По результатам диссертационной работы получен патент РФ.

Замечания по диссертационной работе

По работе имеются следующие замечания:

1. Исходя из каких соображений были выбраны составы исследуемых материалов?
2. В диссертации для повышения прочности и электропроводности к сплавам после ИПД применяют статическое старение. Применение динамического старения в ходе деформации или статического старения до деформации может также использоваться для получения заданного комплекса свойств, о чем автор работы упоминает в литературном обзоре. Однако указанные подходы не были использованы в данной работе.
3. В диссертационной работе описывается изменение фазового состава исследуемых медных бронз в ходе различных обработок. Каким образом происходила идентификация частиц вторых фаз?
4. Не вполне понятно объяснение зависимости электропроводности сплава Cu-0,9%Ni от температуры отжига (Рис.46); в частности растворение частиц вторых фаз при отжиге 500°C.
5. В диссертации сопротивление износу рассматривается на образцах после КВД, тогда как усталостные и эксплуатационные характеристики определялись на сплаве, подвергнутом РКУП. Насколько можно соотносить между собой результаты, полученные для разных состояний.
6. В сплаве Cu-0,7%Cr после КВД термическая стабильность упрочнения заметно ниже, чем после РКУП. В диссертации отсутствует объяснение такого различия.

Сделанные замечания не затрагивают основные результаты и положения работы, и не снижают её общую оценку. Диссертация Шаньгиной Д.В. является законченным научным исследованием и выполнена на высоком методическом и научном уровне.

Новые научные результаты, полученные Шаньгиной Д.В., имеют существенное значение для дальнейшего развития технологии УМЗ медных сплавов и для их практического применения. Работа свидетельствует о широкой научной эрудиции соискателя

и его высоких навыках исследователя. Автореферат достаточно полно и правильно отражает содержание диссертации.

Заключение

По своей актуальности, новизне и совокупности полученных результатов диссертационная работа Шаньгиной Дарьи Владимировны «Закономерности получения ультрамелкозернистых медных сплавов с повышенными прочностными и эксплуатационными свойствами» удовлетворяет требованиям ВАК, соответствует шифру специальности 05.16.01 - «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» и критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» Постановления Правительства Российской Федерации № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Шаньгина Дарья Владимировна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Настоящий отзыв обсужден и утвержден на заседании Кафедры материаловедения и нанотехнологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет». Протокол заседания № 11 от «3» апреля 2018 года.

Зав. каф. Материаловедения
и нанотехнологий НИУ БелГУ, д.т.н



С.В. Жеребцов

Докторская диссертация защищена по специальности
05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Наименование ведущей организации: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»)

Адрес организации: 308015, Россия, г. Белгород, ул. Победы, 85

Тел.: (4722) 30-12-11, Факс: (4722) 30-10-12, (4722) 30-12-13

e-mail: Info@bsu.edu.ru

zherebtsov@bsu.edu.ru – Жеребцов Сергей Валерьевич (+7 (4722) 30-18-28)