

ОТЗЫВ

официального оппонента Овчинникова Владимира Владимировича на диссертационную работу Свирида Алексея Эдуардовича «Структура, фазовые превращения и свойства эвтектоидных β -сплавов на медной основе с эффектом памяти формы», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Актуальность темы диссертации. Диссертационная работа посвящена систематическому изучению структуры, фазового состава и свойств поликристаллических эвтектоидных сплавов системы Cu-Al-Ni, подвергнутых термической и термомеханической обработке, мегапластической деформации кручением под высоким давлением и одноосному сжатию. Изучены возможности повышения пластичности эвтектоидных сплавов с эффектом памяти формы за счет формирования в них ультрамелкозернистого (УМЗ) и наноструктурного состояния, что является актуальной материаловедческой задачей как с научной так и практической точек зрения.

Структура и основное содержание работы. Диссертация Свирида А.Э. содержит 151 страницу текста, включает общую характеристику работы, пять глав, заключение и список цитируемой литературы из 149 наименований.

Во **введении** обосновывается актуальность тематики диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, дана оценка научной новизны и практической значимости работы, сформулированы положения, выносимые на защиту, приведены сведения об опубликованных материалах и апробации работы на конференциях различного уровня.

В **первой главе** проанализированы имеющиеся в литературе данные о термоупругом мартенситном превращении (ТМП). Рассмотрены основные закономерности влияния легирования на ТМП, структуру и физические свойства низкотемпературных мартенситных фаз. Изложены современные представления о явлениях, происходящих в сплавах в предмартенситном состоянии. Отмечается, что в настоящее время нет достаточного количества экспериментальных данных о влиянии легирования на температуру и другие важные особенности ТМП сплавов на основе системы Cu-Al-Ni, а также на их физические и механические свойства. Это касается трехкомпонентных сплавов, выбранных в данной работе в качестве объектов исследования, поскольку для них существует лишь очень ограниченный объем данных о влиянии химического состава, температуры и некоторых других факторов на характеристики протекающих ТМП. На основе анализа имеющихся литературных данных поставлена цель и сформулированы задачи диссертационной работы.

Во **второй главе** приведены составы исследуемых сплавов Cu-Al-Ni, методы и режимы их деформационной и последующей термической обработки, экспериментальные методики исследования микроструктуры и комплекса механических свойств. Основным методом мегапластической деформации (МПД) было выбрано кручение под высоким давлением (КВД) и одноосное сжатие (осадка), а в качестве термообработки применяли высокотемпературную термомеханическую обработку (ВТМО) с закалкой в воде при комнатной температуре. Исследование структурного состояния сплавов осуществлялось с использованием методов просвечивающей и растровой электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа и оптической микроскопии. Для измерения механических свойств использовались методы одноосного растяжения, сжатия и микроиндентирования.

Третья глава посвящена изучению влияния химического состава тройных сплавов, в области концентраций компонентов: Cu – (7 – 10)Al – 4.5Ni, Cu –(9-14)Al – 3Ni, на фазовый состав, структурные типы аустенита и образующегося мартенсита, температурные интервалы ТМП, а также на физико-механические свойства. Изучено влияние допирования бором на структурное и механическое поведение сплавов Cu-Al-Ni. Продемонстрирован эффект памяти формы (ЭПФ) на образцах сплава Cu-14Al-3Ni после ВТМО.

Четвертая глава посвящена исследованию влияния МПД, которая была впервые применена для β -сплавов на основе Cu посредством КВД. Данные ПЭМ показали, что в результате КВД до 10 оборотов в мартенситном сплаве Cu-14Al-3Ni сформировалась нанокристаллическая (НК) структура, на что указывает кольцевое распределение рефлексов на микроэлектроннограммах. В настоящем исследовании были также впервые проведены эксперименты с нагревом образцов НК-сплава Cu-14Al-3Ni после КВД, выполнен микроструктурный анализ влияния термообработки в широком интервале температур (вплоть до 1073К), изучены механические свойства и характер разрушения образцов при различных температурах деформации.

В пятой главе было изучено влияние контролируемого одноосного сжатия (осадки), как при комнатной, так и при повышенных температурах на структурно-фазовые превращения и механические характеристики сплава Cu-14Al-4Ni. Для выполнения механических испытаний осадкой при повышенных температурах, был выбран интервал температур 673-1073 К с шагом 100 К. Измерения показали, что рост температуры испытаний приводит, во-первых, к изменению стадийности и характера пластической деформации по сравнению с испытаниями при комнатной температуре. Во-вторых, повышение температуры деформации осадкой от комнатной температуры до 673 К при смене структуры сплава от мартенситной к аустенитной не приводит к изменению величины $\sigma_{0.2}$, сохранившейся на уровне 400 МПа но вызывает увеличение предела прочности σ_B .

В разделе **Заключение** приведены основные выводы по работе и в завершении представлен список цитированной литературы.

В отношении **научной новизны диссертационной работы** А.Э Свирида может быть отмечено следующее:

– А.Э. Свиридом впервые убедительно показано, что основными причинами подавления термоупругих мартенситных превращений и эффекта памяти формы в эвтектоидных сплавах системы Cu-Al-Ni и развития в них катастрофической зернограницной хрупкости являются эвтектоидный распад, крупнозернистость аустенита и его высокая упругая анизотропия. Автором определены основные морфологические признаки пакетно-пирамидального мартенсита и зафиксировано снижение в диапазоне (900 – 250) К температур термоупругих мартенситных превращений в закаленных сплавах при повышении содержания Al от 9.0 до 14.0 масс. %;

– установлено впервые, что в исходно крупнозернистых сплавах (размер зерна ~ 1 мм) может быть получена мелкозернистая структура (размер зерна ~ 0.15–0.2 мм) как за счет легирования (7.5–9.5) масс. % Al или (0.1–0.2) масс.% В, так и использования повторного рекристаллизационного отжига с закалкой или контролируемого изотермического сжатия при температурах выше границы эвтектоидного распада. При этом уменьшение размеров субструктурных элементов мартенсита обеспечивает более однородное распределение в объеме зерен нормальных и сдвиговых напряжений;

– автором впервые обнаружено, что в сплавах Cu-Al-Ni к радикальному измельчению до ультрамелкозернистого состояния (с размером зерна ~1–5 мкм) приводит КВД с последующим кратковременным отжигом или изотермическая осадка при температурах вблизи или ниже границы эвтектоидного распада, обеспечивающая при этом их высокую твердость и прочность;

– обнаружен неизвестный ранее эффект пластификации сплавов в мелко- и ультрамелкозернистом состоянии после одноосного сжатия в аустенитном состоянии, а также в мартенситном состоянии при механических испытаниях на растяжение;

– выявлена корреляция уровня пластичности и механизмов разрушения сплавов системы Cu-Al-Ni: в пластичных сплавах реализуется преимущественно вязкий мелкоячеичный внутризеренный механизм разрушения в отличие от зернограницного механизма разрушения хрупких крупнозернистых сплавов-прототипов.

Практическая значимость полученных результатов.

Анализ полученных результатов и сделанные в работе выводы позволяют заключить, что установленные температуры термоупругих мартенситных превращений сплавов Cu-Al-Ni изменяются в очень широком диапазоне, что позволяет найти для этих сплавов применение в самых различных сферах техники, подбирая химический состав и способы обработки в зависимости от условий эксплуатации, требуемого интервала температур, реализуемой термо- и механоупругой обратимой деформации и памяти формы, а также и других эффектов.

Достоверность полученных А.Э. Свиридом результатов обеспечивается использованием им в работе современного аналитического и надлежащим образом аттестованного оригинального оборудования, новейших методов и методик исследования, высоким уровнем воспроизводимости результатов, а также хорошей согласией части полученных данных с некоторыми известными из литературы результатами, полученными ранее другими авторами.

По диссертационной работе имеются **вопросы и замечания**, в основном касающиеся погрешностей или пробелов в описании некоторых фрагментов исследования, также качества изложения:

1. В положении 1, выносимом на защиту (как в диссертации, так и в автореферате) указано, привожу часть фразы: «Установленные закономерности влияния легирования и структурно-фазовых превращений при термической и термомеханической обработке ... (но не указано «влияния ... » на что (?), и, по-видимому, должно быть написано: «Установлены ...»), в связи с которыми определены ... ». Короче, предложение не согласовано и, возможно, что-то пропущено.
2. На электронограммах (стр. 95 диссертации, рис. 4.6) не показаны результаты идентификации фаз, что не дает возможности оценить эти данные.
3. Несмотря на высокое в целом качество изложения материала, имеются отдельные огрехи. Различия в обозначениях единиц измерения (секунд) и (с), (минут) и (мин) (см. например подписи к рис. 4.9. и 4.10, стр. 103 и 104 диссертации). Указание ГОСТа 1497 (стр. 48 диссертации) сделано без указания года, и др.
4. Следует отметить также отсутствие подробного описания результатов EBSD анализа (рис. 4.8 и рис. 4.9), что не позволяет оценить целесообразность его применения и значимость полученных сведений.

Сделанные замечания не затрагивают важнейших результатов и выводов по работе и не снижают её общей положительной оценки. В целом следует отметить, что диссертация А.Э. Свирида представляет собой завершённую весьма трудоёмкую работу, выполненную на высоком научном уровне, представляющую значительный интерес как с чисто научной, так и с практической точек зрения. Достоверность основных результатов выполненного исследования и обоснованность сформулированных автором положений и выводов не вызывает каких-либо сомнений.

Содержание диссертации соответствует пункту 1 «Теоретическое и экспериментальное изучение физической природы свойств металлов и их сплавов, неорганических и органических соединений, диэлектриков и в том числе материалов световодов как в твёрдом, так и в аморфном состоянии в зависимости от их химического, изотопного состава, температуры и

давления»; пункту 2 «Теоретическое и экспериментальное исследование физических свойств неупорядоченных неорганических и органических систем, включая классические и квантовые жидкости, стекла различной природы и дисперсные системы» и пункту 3 «Изучение экспериментального состояния конденсированных веществ (сильное сжатие, ударные воздействия, изменение гравитационных полей, низкие температуры), фазовых переходов в них и их фазовые диаграммы состояния» паспорта специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Содержание автореферата А.Э. Свирида соответствует результатам, изложенным в диссертации.

Основные материалы диссертационной работы представлены в 9 научных публикациях, в том числе – 6 статьях в реферируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК, 2-х главах в составе монографий и 10 тезисах докладов на российских и международных конференциях. Основные результаты, выводы, положения и рекомендации работы докладывались и обсуждались на 7-ми российских и международных конференциях.

Считаю, что представленная диссертационная работа «Структура, фазовые превращения и свойства эвтектоидный β -сплавов на медной основе с эффектом памяти формы» полностью удовлетворяет требованиям пункта 9 Положения «О присуждении ученых степеней» ВАК Министерства образования и науки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Свирид Алексей Эдуардович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

Главный научный сотрудник
лаборатории пучковых воздействий
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института электрофизики УрО РАН,
доктор физ.-мат. наук, профессор

В. В. Овчинников
«18» ноября 2020 г.

6200016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 106
ФГБУН Институт электрофизики УрО РАН
Тел: +7(343)267-87-74, +7(343)267-87-84
e-mail: vladimir@iep.uran.ru; viae05@rambler.ru

Подпись Овчинникова Владимира Владимировича
заверяю, ученый секретарь института,
кандидат физ.-мат. наук

Е.Е. Кокорина

С отзывом ознакомлен 23.11.2020г. 2021



СВЕДЕНИЯ ОБ ОФИЦИАЛЬНОМ ОППОНЕНТЕ

по диссертации Свирида Алексея Эдуардовича «Структура, фазовые превращения и свойства эвтектоидных β -сплавов на медной основе с эффектом памяти формы», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Фамилия, имя, отчество	Овчинников Владимир Владимирович
Гражданство	Российская Федерация
Ученая степень (с указанием шифра специальности по которой защищена)	доктор физико-математических наук, 01.04.07
Основное место работы	
Должность	Главный научный сотрудник
Наименование подразделения	Лаборатория пучковых воздействий
Полное наименование организации в соответствии с уставом	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук
Почтовый индекс, адрес, веб сайт, телефон, адрес электронной почты организации	6200016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 106, http://www.iep.uran.ru/ +7 (343) 267-87-96 admin@iep.uran.ru
<p>Список основных публикаций официального оппонента, составляющего отзыв, за последние пять лет по теме диссертации:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ghyngazov S.A., Kostenko V., Ovchinnikov V.V., Gushchina N.V., Makhinko F.F. Surface modification of $ZrO_2-3Y_2O_3$ ceramics with continuous Ar^+ ion beams // Surface and Coatings Technology. 2020. V. 388. № статьи 125598. P. 1-9. 2. Gushchina N.V., Ovchinnikov V.V., Mozharovsky S.M., Kaigorodova L.I. Restoration of plasticity of cold-deformed aluminium alloy by short-term irradiation with accelerated Ar^+ ions // Surface and Coatings Technology. 2020. V. 389. № статьи 125504. 3. Березовская В.В., Саврай Р.А., Маслова О.В., Гущина Н.В., Овчинников В.В. Эффект облучения поверхности ионами аргона при замедленном разрушении мартенситностарееющей стали // ФММ. 2020. Т. 121. № 3. С. 330-336. 4. Овчинников В.В., Макаров Е.В., Гущина Н.В. Образование аустенита в альфа-сплаве Fe-6,29 % Mn после холодной пластической деформации в условиях быстрого нагрева пучком ионов Ar^+ до 299 С // ФММ. 2019. Т. 120. № 12. С. 1307-1313. 5. Ovchinnikov V. V. Nanoscale dynamic effects under cascade-forming irradiation // Surface and Coating Technology. 2018. V. 355. P. 65-83. 6. Гущина Н. В., Овчинников В. В., Махинько Ф. Ф., Кайгородова Л. И., Распоиенко Д. Ю. Влияние мегапластической деформации и последующего ионного облучения на структуру сплава Al-Li-Cu-Mg // Известия вузов. Физика. 2018. Т. 61. № 8/2. С. 146-150. 	

7. Бедин С.А., Овчинников В.В., Ремнев Г.Е., Махинько Ф.Ф., Павлов С.К., Гущина Н.В., Загорский Д.Л. Оценка радиационной стабильности нанопроволок сплава $Fe_{0.56}Ni_{0.44}$ под воздействием мощных импульсных пучков ионов // ФММ. 2018. Т. 119. № 1. С. 45-53.
8. Овчинников В. В., Махинько Ф. Ф., Гущина Н. В., Степанов А. В., Медведев А. И., Стародубцев Ю. Н., Катаев В. А., Цепелев В. С., Белозеров В. Я. Воздействие ионного облучения на процесс нанокристаллизации и магнитные свойства магнитомягкого сплава $Fe_{72.5}Cu_1Nb_2Mo_{1.5}Si_{14}B_9$ // ФММ. 2017. Т. 118. № 2. С. 158-166.
9. Ovchinnikov V. V., Gushchina N. V., Mozharovsky S.M., Kaigorodova L.I. Low-temperature volume radiation annealing of cold-worked bands of Al-Li-Cu-Mg alloy by 20-40 keV Ar^+ ion // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 168. 012067.
10. Gushchina N.V., Ovchinnikov V.V. Mücklich A. Acceleration of volume decomposition of supersaturated Al + 4 wt. % Cu solid solution under irradiation with Ar^+ ions // Phys. Status Solidi B. 2016. Vol. 253. № 4. P. 770-777.

Даю согласие на обработку моих персональных данных и на размещение их в свободном доступе в сети информационно-телекоммуникационной сети "Интернет" и в единой информационной системе.

Официальный оппонент

В.В. Овчинников

Подпись Овчинникова Владимира Владимировича
заверяю, ученый секретарь института,
кандидат физ.-мат. наук

Е.Е. Кокорина

