

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Свирида Алексея Эдуардовича «Структура, фазовые превращения и свойства эвтектоидных  $\beta$ -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

В условиях развития экономики, науки, техники и технологий важным и все более востребованным становится создание новых материалов разнообразного назначения. К данным материалам в полной мере относятся поликристаллические сплавы с термоупругими мартенситными превращениями и обусловленными ими уникальными эффектами памяти формы. При современном развитии техники необходимы такие smart-материалы, которые могут быть использованы в разных температурных, силовых и иных практически важных условиях, однако, существенным их недостатком является низкая пластичность и хрупкость в поликристаллическом состоянии, исключающая реализацию уникальных присущих монокристаллам эффектов в циклическом многократном и даже однократном применении. В связи с этим диссертационная работа А.Э. Свирида, посвященная установлению закономерностей структурно-фазовых превращений и формирования физикомеханических свойств в поликристаллических эвтектоидных сплавах с эффектом памяти формы системы Cu-Al-Ni, подвергнутых высокотемпературной термомеханической обработке и мегапластической деформации, является несомненно актуальной.

В данной работе установлено, 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. При этом в работе впервые показано, что в исходно крупнозернистых (размер зерна  $\sim 1$  мм) сплавах может быть получена мелкозернистая структура (размер зерна  $\sim 0,15$ – $0,2$  мм) как за счет легирования (7,5–9,5) масс.%Al или (0,1–0,2) масс.%B, так и использования повторного рекристаллизационного отжига с закалкой или контролируемого изотермического сжатия при температурах выше границы эвтектоидного распада. Также было обнаружено, что в сплавах Cu-Al-Ni к радикальному измельчению до ультрамелкозернистого состояния (с размером зерна  $\sim 1$ – $5$  мкм) приводит деформация кручением под высоким давлением с последующим кратковременным отжигом и посредством изотермической осадки при температурах вблизи или ниже границы эвтектоидного распада, обеспечивающая при этом их высокую твердость и прочность. Получен эффект пластификации сплавов в мелко- и ультрамелкозернистом состоянии после одноосного сжатия в аустенитном состоянии, а также в мартенситном состоянии при механических испытаниях на растяжение. Наконец, диссертант выявил корреляцию 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

Достоверность полученных А.Э. Свиридом результатов не вызывает сомнения в силу использования аттестованных образцов, проведением комплексных исследований и измерений на сертифицированном современном оборудовании, включая растровую и просвечивающую аналитическую электронную микроскопию высокого разрешения, рентгеноструктурный фазовый анализ, резистометрические и магнитометрические исследования, измерения механических свойств на высокоточных испытательных машинах, а также воспроизводимостью результатов на большом числе сплавов и их согласием с известными в литературе данными, полученными разными методами.

Установленные в результате работы температурно-концентрационные и структурноморфологические закономерности фазовых превращений и формирования

физикомеханических свойств в исследуемых сплавах существенно дополняют представления о физике процессов, протекающих при термической и термомеханической обработке эвтектидных сплавов Cu-Al-Ni. Полученные данные по модификации их микроструктуры и свойств дадут возможность использовать сплавы на основе Cu-Al-Ni для разработки и изготовления различных конструктивных элементов с эффектами памяти формы в разных промышленных областях. В работе достигнуты высокие прочностные ( $\sigma = 1600-2000$  МПа), пластические (при сжатии в пределах  $\epsilon = 1-2$ , растяжении  $\delta = 14-16\%$ ) и псевдоупругие ( $\epsilon_{pu} = 2-3\%$ ) характеристики, необходимые для практической реализации в сплавах эффектов памяти формы. Установленные температуры термоупругих мартенситных превращений сплавов Cu-Al-Ni изменяются в очень широком диапазоне, что позволит 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.

Убедительно проведена апробация работы, результаты которой были доложены на десяти национальных и международных конференциях и отражены в шести статьях в рецензируемых журналах, включённых в перечень ВАК и главах в двух монографиях.

Диссертационная работа Свирида А.Э. является законченным научным исследованием и полностью отвечает требованиям ВАК РФ (удовлетворяет пункту 9 Положения о присуждении ученых степеней) а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния».

Заведующий Лабораторией металловедения  
цветных и легких металлов ИМЕТ РАН,  
профессор, д.т.н.  
(05.16.01 Металловедение и термическая  
обработка металлов и сплавов)

Добаткин Сергей Владимирович

Старший научный сотрудник лаборатории  
Металловедения цветных и легких  
металлов ИМЕТ РАН, к.ф.-м.н.  
(01.04.07 Физика конденсированного состояния)

Страумал Петр Борисович

26.11.2020

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук  
119334, г. Москва, Ленинский пр-кт. 49 / тел: +7-499-135-20-60,  
dobatkin@imet.ac.ru (+7-499-135-77-43)  
pstraumal@imet.ac.ru (+7-499-135-77-43)

Я, Добаткин Сергей Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Свирида Алексея Эдуардовича, и их дальнейшую обработку.

Я, Страумал Петр Борисович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Свирида Алексея Эдуардовича, и их дальнейшую обработку.

Подпись С.В. Добаткина и П.Б. Страумала

Начальник отдела кадров ИМ

Г.А. Корочкина

Согласие оформлено  
04.12.2020

