

Министерство образования и науки  
Российской Федерации  
Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Тверской государственный университет»

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ  
ИЗУЧЕНИЯ КЛАСТЕРОВ,  
НАНОСТРУКТУР  
И НАНОМАТЕРИАЛОВ**

*МЕЖВУЗОВСКИЙ СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ*

**выпуск 5**

**ТВЕРЬ 2013**

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Ф50

**Рецензенты:**

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной физики  
Тверского государственного технического университета

*А.Н. Болотов*

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики пьезо-  
и сегнетоэлектриков Тверского государственного университета

*Н.Н. Большакова*

**Редакционная коллегия:**

Самсонов Владимир Михайлович – заведующий кафедрой теоретической физики  
ТвГУ, профессор, д.ф.-м.н. (ответственный редактор);

Созаев Виктор Адыгеевич – заведующий кафедрой физики факультета электронной  
техники Северо-Кавказского горно-металлургического института, профессор, д.ф.-м.н.;

Гафнер Юрий Яковлевич – заведующий кафедрой общей и экспериментальной физики  
Хакасского государственного университета, профессор, д.ф.-м.н.;

Сдобняков Николай Юрьевич – доцент, к.ф.-м.н. (зам. ответственного редактора,  
ответственный секретарь);

Базулев Анатолий Николаевич – доцент, к.ф.-м.н.;

Комаров Павел Вячеславович – доцент, к.ф.-м.н.;

Скопич Виктор Леонидович – доцент, к.ф.-м.н.;

Соколов Денис Николаевич – технический редактор.

**Ф50** Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и  
наноматериалов [Текст]: межвуз. сб. науч. тр. / под общей редакцией  
В.М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2013. – Вып. 5. –  
440 с.

ISBN 978-5-7609-0877-3

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных  
технологий и массовых коммуникаций, свидетельство о регистрации СМИ  
ПИ № ФС 7747789 от 13.12.2011

Сборник составлен из оригинальных статей теоретического и  
экспериментального характера, отражающих результаты исследований в области  
изучения физико-химических процессов с участием кластеров, наноструктур и  
наноматериалов физики, включая межфазные явления и нанотермодинамику. Сборник  
предназначен для научных и инженерно-технических работников, преподавателей  
вузов, студентов и аспирантов. Издание подготовлено на кафедре теоретической  
физики Тверского государственного университета.

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

ISBN 978-5-7609-0877-3

ISSN 2226-4442

© Коллектив авторов, 2013

© Тверской государственный  
университет, 2013

УДК 669.715 : 539.374.2

## СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКОЙ ПРОВОЛОКИ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА $Al-14\%Cu-7\%Ce$

Е.А. Бабич, М.А. Журавлева, А.А. Могучева

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет*

*308015, Белгород, ул. Победы, 85*

*mariaciti@yandex.ru*

**Аннотация:** Изучено влияние равноканального углового прессования на микроструктуру и механические свойства алюминиевого сплава  $Al-14\%Cu-7\%Ce$ , влияние волочения на микроструктуру, а также исследована поверхность разрушения образцов проволоки алюминиевого сплава  $Al-14\%Cu-7\%Ce$ .

**Ключевые слова:** *алюминиевые сплавы, микроструктура, равноканальное угловое прессование, механические свойства, волочение, деформация.*

В последние годы алюминиевые сплавы получили широкое применение в качестве электропроводящих материалов благодаря малому удельному весу, низкой стоимости, а так же хорошим технологическим характеристикам. Одним из перспективных материалов, который возможно использовать в авиа- и космической технике, является эвтектический сплав  $Al-14\%Cu-7\%Ce$ . Добавки церия к алюминиевым сплавам приводят повышению прочности без потери проводимости, измельчению зерна и улучшению обрабатываемости резанием [1].

К сожалению, данный сплав не обладает достаточной пластичностью, чтобы была возможность получать из него проволоку в литом состоянии. Преждевременное разрушение в сплаве  $Al-14\%Cu-7\%Ce$  обусловлено неоднородностью деформации в дендритной структуре. В литом состоянии микроструктура неоднородна, присутствуют крупные безэвтектические области. Расстояние между частицами  $Al_8CeCu_4$  по границам дендритных ячеек менее 0,5 мкм, а размер областей внутри дендрита, свободных от этих частиц, составляет десятки микрометров. В процессе деформации в безэвтектических областях происходит сильная локализация деформации, что и приводит к преждевременному разрушению. Таким образом, если 1) повысить однородность распределения недеформируемых частиц по алюминиевой матрице; 2) уменьшить размер недеформируемых частиц; 3) добиться круглой формы этих частиц, то возможно существенное повышение как пластичности, что позволит изготавливать тонкую проволоку, так и прочности, что позволит уменьшить минимальную толщину проволоки, которая определяется эксплуатационными характеристиками.

В данной работе использовалось равноканальное угловое прессование (далее – РКУП) после отжига при 540°C в течение 3 часов, в процессе которого произошла фрагментация и сферодизация тройного

соединения  $Al_8CeCu_4$ . Отжиг значительно повлиял на механические характеристики сплава. В литом состоянии образец испытал хрупкое разрушение, однородно деформировался без образования шейки вплоть до момента разрыва. После проведения отжигов при различных температурах механические свойства образцов изменились, деформация образцов после отжига сопровождается прерывистым течением, проявляющемся в виде зубцов на кривых напряжение-деформация.

Известно, что РКУП обеспечивает сверхбольшие пластические деформации заготовки без изменения ее формы. Важно отметить, что обработка РКУП не ухудшает микроструктуру материала, не было образовано никаких пустот. За счет подбора температуры деформации была получена мелкозернистая структура в сплаве  $Al-14\%Cu-7\%Ce$ , а так же РКУП обеспечивает более однородное распределение таких недеформируемых частиц как  $Al_8CeCu_4$ , а так же их интенсивное дробление, что привело к росту относительного удлинения и позволило увеличить прочность  $Al-14\%Cu-7\%Ce$  [2]. Далее была подобрана термическая обработка, которая позволила снять накопленные напряжения без критического падения прочности.

Далее из полученных образцов волочили проволоку. Исходной заготовкой для получения алюминиевой проволоки являлась катанка диаметром 8,0 мм, полученная прокаткой слитков на проволочно-прокатном стане. Радиально сдвиговую прокатку заготовок из сплава  $Al-14\%Cu-7\%Ce$  проводили на стане РСП-14-40 при комнатной температуре с  $\varnothing 20$  мм до  $\varnothing 8$  мм за 12 проходов. Изготовление алюминиевой проволоки из катанки осуществляется методом волочения, при котором катанка протягивается через ряд отверстий (волоку), размеры которых меньше, чем размеры поперечного сечения протягиваемого металла перед проволокой. Поэтому катанка, проходя через волоку, деформируется и изменяет свое поперечное сечение, принимая после выхода из волоки форму и размеры наименьшего сечения канала. Длина полосы при этом увеличивается прямо пропорционально уменьшению поперечного сечения. Перед волочением на специальном станке заостряют передний конец полосы, предназначенной для обработки, с таким расчетом, чтобы конец легко входил в волоку и частично выходил с ее противоположной стороны. Этот конец захватывают специальным механизмом и протягивают. Чтобы уменьшить внешнее трение, между поверхностями протягиваемого металла и волочильного канала вводят смазку. Это уменьшает расход энергии на волочение, способствует получению гладкой поверхности у протягиваемого металла, сильно уменьшает износ самого канала и позволяет осуществлять процесс с повышенными степенями деформации. Получение проволоки проводили на

волоочильной машине однократного волочения с вертикальным расположением тягового барабана  $\varnothing$  450 мм со скоростью волочения 12 м/мин. В качестве смазки применялась смазочно-охлаждающая жидкость для труднообрабатываемых металлов. При волочении были использованы технологические маршруты волочения, разработанные для производства кабелей в металлических оболочках, с применением волок из твердосплавного материала ВК8.

Исследования микроструктуры холоднотянутой проволоки из сплава  $Al-14\%Cu-7\%Ce$  показали, что в процессе деформации происходит дополнительное дробление эвтектических выделений: микроструктура проволоки представляет собой практически чистую алюминиевую матрицу с равномерно распределенными по всему сечению мелкими включениями фазы  $Al_8CeCu_4$ . Отжиг холоднотянутой проволоки во всех состояниях приводит к укрупнению частиц эвтектической фазы и соответственно несколько огрубляет структуру.

При исследовании поверхности разрушения образцов проволоки из сплава  $Al-14\%Cu-7\%Ce$  обнаружено, что разрушение материала происходит преимущественно по транскристаллитному механизму, на это указывает присутствие в изломах крупных областей, содержащих бороздки. Такие области доминируют на поверхности разрушения образцов, располагаясь по кругу по краю образца. В то же время в изломе в центре образца наблюдается ямочная структура.

По результатам механических испытаний установлено, что волочение при комнатной температуре способствует интенсивной нагартовке сплава  $Al-14\%Cu-7\%Ce$ , в результате чего прочностные свойства возрастают в 1,5–2 раза по сравнению с исходным до волочения состоянием, тогда как удлинение значительно падает и составляет около 2%.

Для изучения влияния термической обработки на механические свойства проволоки ее отжигали при температурах от 300°C до 450°C в течение 1 часа. Испытания сплава  $Al-14\%Cu-7\%Ce$ , проведенные при комнатной температуре и скорости деформации  $1,3 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ , показали, что отжиг в интервале температур 300–450°C сопровождается увеличением удлинения до разрушения с незначительным уменьшением предела прочности и значительным понижением предела текучести. С увеличением температуры отжига скорость деформационного упрочнения на ранней стадии деформации постепенно уменьшается.

*Работа выполнена на оборудовании ЦКП НИУ «БелГУ» при финансовой поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации, договор № 16.120.11.3258-МК.*

**Библиографический список:**

1. **Воронцова, Л.А.** Алюминий и алюминиевые сплавы в электротехнических изделиях / Л.А. Воронцова, В.В. Маслов, И.Б. Пешков. – М.: Энергия, 1971. – 224 с.
2. **Могучева, А.А.** Влияние интенсивной пластической деформации на свойства алюминиевого сплава  $Al-Cu-Ce$  / А.А. Могучева, М.А. Журавлева. Научное обозрение. – 2013. – № 2. – С. 121-123.