



ИПСМ
РАН

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ МЕТАЛЛОВ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

450001 г. Уфа, Республика Башкортостан, ул. Степана Халтурина, д. 39
Тел: (347) 223-64-07 Факс: (347) 282-37-59
E-mail: imsp@anrb.ru URL: www.imsp.ru

ОКПО 04826145 ОГРН 1030204588633 ИНН 0278014912 КПП 027801001

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИПСМ РАН

Мулюков Р.Р.

« 18 » января 2019 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Яковцевой Ольги Анатольевны

на тему «Механизмы сверхпластической деформации в сплавах с разным типом микроструктуры», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Актуальность работы

Широкое использование эффекта структурной сверхпластичности (СП) на предприятиях РФ во многом сдерживается тем, что выпускаемые в настоящее время сверхпластичные полуфабрикаты пригодны лишь для деформирования с невысокими скоростями, вследствие чего формообразование деталей требует значительного времени. Другой причиной является повышенная пористость отформованных изделий, приводящая к снижению их эксплуатационных свойств. В то же время, пористость изделий из некоторых многокомпонентных латуней и Al-Mg сплавов относительно низка, но причины этого эффекта не столь однозначны и ясны.

Известно, что оптимальный температурно-скоростной интервал сверхпластичности, как и уровень остаточной пористости, определяются исходным структурно-фазовым состоянием деформируемого материала. Кроме того, они коррелируют с соотношением действующих механизмов деформации: зернограничного проскальзывания, дислокационного скольжения и диффузионной ползучести. Первый считается основным и его вклад в оптимальных условиях СП может достигать 70-90%, а два других чаще играют роль аккомодационных. При этом наименее изученным вопросом является феноменология и природа взаимосвязи этих механизмов и их

вкладов в общую деформацию в зависимости от режимов СП, а также связи соотношения их вкладов с максимальными удлинениями и пористостью деформированных материалов.

Изучение механизмов сверхпластической деформации и их вкладов, используя анализ деформационного рельефа, развивающегося на поверхности растянутых образцов, сопряжено с рядом методических трудностей постановки экспериментов и интерпретации полученных данных, начиная с нанесения сеток с регламентированными линиями. Недавние работы показали эффективность использования для этого метода ионного травления Ga^+ . Однако, аттестация этого метода для алюминиевых сплавов не проводилась и требует тщательного анализа.

Таким образом, задача комплексного анализа эволюции структуры и действующих при сверхпластической деформации механизмов в сплавах разного состава и со структурой разного типа актуальна и требует решения, в том числе с использованием современных топографических методов анализа и высокоразрешающего оборудования.

Научная новизна

1. Обнаружено, что при сверхпластической деформации двухфазных латуней Л59 и ЛА61-1 β -фаза подвержена динамической рекристаллизации за счет формирования двойников, приводящей к формированию ультрамелкозернистой структуры с размером зерен/фаз менее 1 мкм. Введение в двойную латунь 1 масс.% Al уменьшает размер зерна β -фазы с 400 до 200 нм, замедляет диффузионные процессы и уменьшает вклад зернограницного скольжения с 60 до 30%, что, в итоге, заметно улучшает показатели СП, в том числе, увеличивает удлинения с 300 до 500% и уменьшает остаточную пористость с 4.5 до 1%.

2. Показано, что в сплаве 7475 (Al-Zn-Mg-Cu-Cr) основной вклад в общее удлинение на установившейся стадии сверхпластической деформации вносило зернограницное скольжение, при этом вклад увеличивался с 30 до 60% при практическом отсутствии внутризеренной деформации и пористости, достигавшей 4.5%.

3. Установлено, что на начальной стадии сверхпластической деформации Al-(4.9-7.6)Mg-0.6Mn-0.2Cr сплавов основным механизмом является диффузионная ползучесть с вкладом до 70%. С ростом степени деформации доля диффузионной ползучести уменьшалась до 20%, тогда как дислокационной ползучести возрастала с 10 до 35%. При этом вклад зернограницного скольжения не превышал 30%, не зависел от степени деформации, и незначительно возрастал с увеличением концентрации магния из-за формирования исходно более мелкозернистой структуры. В результате, сплавы демонстрировали остаточную пористость не более 2.5%.

4. Выявлена тенденция уменьшения вклада зернограницного скольжения с уменьшением размера дисперсных частиц при деформировании сплавов в близких температурно-скоростных условиях СП. Так вклад зернограницного скольжения был в 4 раза меньше в сплаве Al-4.9Mg-0.6Mn-0.2Cr с дисперсными частицами $Al_6(Mn,Cr)$ диаметром 38 нм, чем в сплаве Al-4.9Mg-0.6Mn

с частицами Al_6Mn диаметром 85 нм. Аналогично, присутствие частиц Al_3Zr размером до 18 нм в сплаве Al-Zn-Mg-Cu-Ni-Zr обеспечило в два раза меньший вклад, чем в сплаве Al-Zn-Mg-Cu-Cr с дисперсоидами размером 42 нм.

Теоретическая и практическая значимость

1. Разработана методика анализа вкладов механизмов сверхпластической деформации с использованием маркерных сеток, полученных методом ионного травления (НОУ-ХАУ №50-013-2014, №29-013-2015 и №18-013-2017).

2. Установлено, что уровень вкладов действующих механизмов, определенных с использованием маркерных царапин и сеток, полученных ионным травлением, совпадают, что подтверждает отсутствие существенного влияния ионов Ga^+ на структуру и механизмы сверхпластической деформации исследованных материалов.

3. Добавка алюминия до 2.2% улучшает показатели сверхпластичности латуни, увеличивая относительные удлинения с 300 до 500% при температуре деформации 550 °С и скорости $1 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ и уменьшая объемную долю пор с 4.5 до 1.0% (зарегистрирована заявка №2018117656 на патент РФ). Снижение пористости проявляется в том, что после деформации с $\epsilon=100\%$ пределы текучести и прочности при комнатной температуре сплава с 1%Al снижаются менее чем на 10%, тогда как предел текучести Л59 снижается на 25%, а предел прочности на 20%.

4. Разработаны основы технологии получения сверхпластичного листа сплава АА5083 с повышенной в два раза оптимальной скоростью сверхпластической деформации благодаря уменьшению размера зерна с 7.7 до 5.5 мкм (зарегистрировано НОУ-ХАУ №67-013-2016 от 26 декабря 2016).

Достоверность полученных результатов обеспечена решением поставленных задач с использованием комплекса современных, взаимодополняющих методов и оборудования, проведением экспериментов с необходимой выборкой и статистической обработкой данных.

Содержание работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих и выводов по главам, библиографического списка, включающего 136 наименований, и изложена на 140 страницах и включает 100 рисунков и 16 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы, определены цель и задачи исследования, описаны научная и практическая значимость, личный вклад автора.

В первой главе представлен аналитический обзор литературы по теме диссертационной работы. Описаны методы исследования механизмов сверхпластической деформации, исследуемые

группы сплавов, приведены и проанализированы известные данные о механизмах СП деформации и порообразования в сплавах на основе алюминия и меди.

Во второй главе представлен химический состав исследуемых сплавов, описаны методы их получения и обработки, исследовательское оборудование и методы анализа. Описаны методики расчета эффективной энергии активации сверхпластической деформации и вкладов действующих при сверхпластической деформации механизмов.

В третьей главе рассмотрены результаты анализа сплавов с дулексной структурой на медной основе. Проанализирована исходная структура латуни Л59 и ее изменение в процессе сверхпластической деформации, показатели СП и развитие пористости. Приведены результаты исследования влияния добавки алюминия на поведение латуни и действующие механизмы.

В четвертой главе описано СП поведение, эволюция микроструктуры, дислокационной структуры, пористости и вкладов различных механизмов при деформации Al-Mg сплавов со структурой матричного типа. Представлены результаты сопоставительного анализа вкладов механизмов СП деформации с использованием маркерных царапин и сетки в широком температурно-скоростном интервале. Показан эффект введения хрома на показатели СП, микроструктуру и действующие механизмы в сплавах типа 5083.

Пятая глава посвящена особенностям поведения сплавов с частично или полностью нерекристаллизованной структурой перед сверхпластической деформацией. Определен вклад зернограницного скольжения и внутризеренной деформации в зависимости от скорости и степени деформации.

В процессе обсуждения по диссертационной работе возникли следующие основные вопросы и замечания:

1. Выбор материалов исследования – сплавов на основе меди и алюминия, как и его обоснование, кажутся не столь однозначными. С учетом различий кристаллических решеток и возможности получения в сплавах широкого спектра структурно-фазовых состояний, попытка обобщения полученных результатов смотрится малоубедительной. Хотя, начиная с названия работы, автор старается убедить в том, что полученные им закономерности могут позволить сделать прогноз о том, какой именно механизм будет контролировать СП поведение любого сплава, на любой основе и с любой структурой. Если это так, то можно ли распространить полученные результаты на латуни на другие сплавы с дулексным типом структуры, например, на титановые сплавы? И почему низкотемпературная СП последних происходит без явного порообразования?

2. В работе показано, что в процессе СП алюминиевых сплавов в приграничных областях формируются зоны, свободные от выделений. Насколько обоснованно считать, что они полностью формировались лишь за счет действия механизма диффузионной ползучести?

3. Из текста и доклада диссертанта не вполне ясна природа порообразования в латуни и ее изменения (подавления) при введении алюминия. Что является контролирующим процессом? Какова роль диффузии? Можно ли из результатов работы сделать вывод о том, что наблюдается тенденция усиления вклада диффузионной ползучести при уменьшении порообразования?

4. В работе следовало бы более четко подчеркнуть роль новых методов, примененных для анализа вкладов механизмов, и позволивших получить новые результаты. Обнаружены ли явные отличия и принципиальная разница этих результатов от полученных на этапе активного изучения эффекта сверхпластичности в 60-70е годы XX века? Какова роль кооперативного зернограницного скольжения?

5. В работе больше внимания следовало уделить практическим вопросам. В частности, более четко раскрыть, каким образом полученные результаты позволят решить основную проблему СП в РФ - более широкого внедрения процессов сверхпластической формовки в производство. За счет каких факторов? Повышения производительности, снижения себестоимости и т.д.?

6. Текст диссертации и автореферата содержит ряд ошибок стилистического и орфографического характера, не влияющих на его восприятие.

Несмотря на представленные замечания, считаем, что основные выводы, сформулированные в диссертационной работе, обоснованы и достоверны, получены на основании статистически достоверного числа экспериментальных исследований. Основные результаты работы исчерпывающе опубликованы в ведущих научных изданиях, входящих в базы цитирования Web of Science и Scopus, а также широко апробированы на ведущих конференциях мирового уровня. В целом, диссертация выполнена на высоком научном уровне, соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, установленным «Положением о порядке присуждения ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС», а ее автор – Яковцева Ольга Анатольевна – заслуживает присвоения искомой ученой степени по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Диссертация была заслушана и обсуждалась на научном семинаре Института проблем сверхпластичности металлов РАН 16 января 2019 г. На семинаре присутствовало 35 человек, из них докторов наук – 7 человек, кандидатов наук – 12 человек.

Заместитель директора по научной работе
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института проблем сверхпластичности металлов РАН,
доктор физико-математических наук (специальность 01.04.07),

450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Степана Халтурина, 39
Тел: (347) 282-37-50, факс: (347) 282-37-59
aanazarov@imsp.ru



Айрат Ахметович НАЗАРОВ

Заведующий лабораторией
«Сверхпластическая обработка перспективных материалов»
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института проблем сверхпластичности металлов РАН,
доктор технических наук (специальность 05.16.01)
450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Степана Халтурина, 39
Тел: (347) 282-38-54, факс: (347) 282-37-59
lutfullin.ramil@imsp.ru



Рамиль Яватович ЛУТФУЛЛИН

Подписи Назарова А.А. и Лутфуллина Р.Я. удостоверяю,
Начальник отдела кадров ИПСМ РАН Соседкина Т.П.



18 января 2019 года