

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор по науке
Федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Уфимский государственный
авиационный технический
университет»

д.т.н., профессор

Р. Д. Еникеев

12 МАЯ 2021 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» на диссертационную работу Кишик Анны Алексеевны «Разработка сплавов на основе системы Al-Mg с высокоскоростной сверхпластичностью», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Представленная на отзыв диссертационная работа состоит из введения, 7 глав и выводов по работе, изложена на 150 страницах машинописного текста, включает иллюстрации, таблицы, библиографический список из 205 наименований.

Актуальность темы диссертационного исследования

Использование сварных соединений в конструкциях снижает прочность изделий и увеличивает их массу, повышает опасность коррозионных разрушений в месте сварного шва. Поэтому более актуальным является применение сверхпластической формовки (СПФ) листовых заготовок, позволяющей производить цельные изделия сложной формы за одну операцию, с сокращением количества сварных швов. Кроме того при этом уменьшаются остаточные напряжения в изделии, снижается масса конструкции, что позволяет в разы уменьшить стоимость штампового инструмента за счет его изготовления из дешевых материалов. Однако для проявления эффекта сверхпластичности необходимо, чтобы размер зерна в листах сплава был менее 10 мкм при сохранении стабильности зеренной структуры во время сверхпластического течения. Чем меньше зерно, тем выше скорости формовки, выше производительность СПФ.

На сегодня из множества разработанных сверхпластичных алюминиевых сплавов нашли реальное использование лишь несколько: высокопрочный сплав AA7475 (Al-Zn-Mg-Cu), AA2004 (Al-Cu-Zr), магналии AA5083/Alnovi-1, Alnovi-U (Al-Mg-Mn-Cr). У большинства

промышленных листов указанных алюминиевых сплавов с исходным перед сверхпластической деформацией размером зерна 7–10 мкм оптимальное значение скорости деформации находится в интервале $10^{-4} - 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ при удлинении 300–500%. Для значимого повышения производительности формовки требуются сплавы способные к сверхпластической деформации со скоростями 10^{-2} с^{-1} и выше. В этой связи разработка сплавов для высокоскоростной сверхпластичности является актуальной проблемой современного материаловедения.

Применительно к сплавам системы Al–Mg – магналиям, способным к высокоскоростной сверхпластической формовке, необходимо создание более мелкозернистой и более стабильной структуры. Однако в литературе в настоящее время недостаточно данных о формировании структуры при кристаллизации, термической и деформационной обработке и свойствах сложнолегированных магналиев. Поэтому постановка данной работы с целью изучить особенности формирования микроструктуры и свойств сплавов системы Al–Mg, легированных эвтектикообразующими и дисперсоидообразующими элементами для разработки новых составов сплавов, обеспечивающих сверхпластичность при скоростях деформации $1 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$ и выше, с уровнем повышенных механических свойств при комнатной температуре, является весьма актуальной на данный момент.

Автор провел анализ большого числа печатных работ по исследуемым вопросам, структурировал и систематизировал известные результаты.

Новизна научных результатов, выводов и рекомендаций

Новизна исследований, представленных в работе, в целом заключается в выявлении новых закономерностей формирования микроструктуры в сплавах системы Al–Mg, легированных эвтектикообразующими и дисперсоидообразующими элементами, изучении распада пересыщенного при литье твердого раствора на основе алюминия в процессе отжига слитка с образованием дисперсоидов алюминидов переходных металлов и их влияние на зеренную структуру, показатели сверхпластичности исследуемых сплавов после термомеханической обработки. Автором предложены составы и режимы обработки новых сплавов на основе системы Al–Mg, обеспечивающие способность к высокоскоростной сверхпластичности.

Новыми и наиболее важными на наш взгляд в работе являются следующие результаты, сформулированные автором:

Показано, что легирование сплавов Al–(4,8–5,8)%Mg совместно эвтектикообразующими Ni, Fe или Ce, Fe, Mn и дисперсоидообразующими Mn, Cr, Zr элементами обеспечивает структуру с бимодальным распределением по размерам частиц вторых фаз (крупных эвтектического происхождения, размерами 0,6–0,9 мкм и наноразмерных дисперсоидов 15–75 нм). Гетерогенная структура, благодаря стимулированию зарождения новых рекристаллизованных зерен крупными частицами и сдерживанию их роста дисперсоидами, обеспечивает перед началом сверхпластической

деформации размер зерна 4–5 мкм и сверхпластичное состояние при постоянных скоростях деформации до $3 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$.

Совместное легирование Al–Mg сплавов Sc и Zr или Er и Zr приводит к формированию перед началом сверхпластической деформации частично рекристаллизованной структуры, динамически рекристаллизующейся в процессе сверхпластической деформации в присутствии крупных эвтектических частиц Ni, Fe, Ce, Mn и Er–содержащих фаз, с формированием зерен среднего размера в диапазоне 3–5 мкм, что обеспечивает сверхпластичное состояние при скоростях деформации до $1 \times 10^{-1} \text{ с}^{-1}$.

Установлено, что в процессе низкотемпературной гомогенизации в течение 24 часов при 360°C в сплаве системы Al–Mg–Fe–Ce–Mn–Cr выделяются наноразмерные марганец–, хром– и железосодержащие дисперсоиды квазикристаллической икосаэдрической I–фазы, которые повышают стабильность зеренной структуры сплава при отжиге и высокотемпературной деформации, что обеспечивает улучшение показателей сверхпластичности сплава.

Практическое значение результатов

Необходимо отметить получение международного патента WO2017078558A1 на сплав на основе системы Al–Mg с добавками эвтектикообразующих и дисперсоидообразующих элементов, листы которого, полученные термомеханической обработкой, способны к высокоскоростной сверхпластической деформации.

Разработанный автором сплав на основе системы Al–Mg–Ce–Fe–Mn–Cr после термомеханической обработки демонстрирует сверхпластическую деформацию при скоростях $(0,5\text{--}3) \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$ с удлинениями 300–400% и имеет предел текучести 195 МПа и предел прочности 340 МПа при комнатной температуре (зарегистрировано ноу-хау: «Сплав для высокоскоростной сверхпластической формовки на основе алюминия с эвтектической составляющей» от 18.10.2018 г. № 13–2018).

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы сомнений не вызывают, так как они базируются на представительном объеме экспериментальных данных, полученных с использованием серийного и уникального аппаратного обеспечения с высокими метрологическими характеристиками. Кроме того, следует отметить непротиворечивость результатов структурных исследований и механических характеристик, а также удовлетворительную их воспроизводимость при многократных испытаниях. Все основные результаты опубликованы в рецензируемых журналах.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

В работе получен ряд новых результатов, которые представляют интерес для специалистов и организаций, областью деятельности которых

является научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы. В дальнейшем исследования могут быть развиты совместно с различными научными группами (уфимской и уральской школой металлургов, научными группами в БелГУ, ИФТТ РАН и др.).

Результаты и выводы диссертации, в частности, условия подготовки структуры и режимы высокоскоростной сверхпластичности, могут быть рекомендованы для их использования на промышленных предприятиях РФ, таких как ОАО «ВИЛС», Каменск-Уральский металлургический завод, ОК «Русал», связанных с исследованием, разработкой и выпуском полуфабрикатов и изделий из различных алюминиевых сплавов, а также могут представлять коммерческий интерес для зарубежных компаний, например AluSPF (Лихтенштейн), FormTech (Германия).

Замечания

1. Автор в работе делает большой акцент на формирование бимодальной структуры (образование крупных эвтектоидных выделений и мелких наноразмерных дисперсионных). Однако в работе отсутствует анализ роли тех или иных выделений в поведении сплавов: формировании и стабильности структуры, развитие типа рекристаллизационных процессов (статические, динамические, постдинамические), влияние на параметры сверхпластичности (напряжение течения, его скоростная чувствительность m , скорость деформации) и другие факторы. Установление такой роли выделений позволило бы контролировать более целенаправленно формирование тех или иных характеристик структуры и свойств сплавов.

2. Не достаточно четко выделена взаимосвязь динамической рекристаллизации (ДР) и сверхпластической деформации: какие объемы динамически рекристаллизованной структуры могут обеспечить высокоскоростную сверхпластичность, какие размеры зерен и при каких режимах ДР формируются, как это влияет на механизмы сверхпластического течения?

3. Мало внимания уделено анализу механизмов высокоскоростной сверхпластической деформации сплавов. Какие их особенности, какие отличия от обычной сверхпластичности?

4. В работе установлено, что для одних сплавов при сверхпластической деформации наблюдается упрочнение, для других – разупрочнение, но важно было бы объяснить такое разное поведение материалов.

Заключение

В целом, однако, диссертационная работа А.А. Кищик выполнена на высоком научном уровне, отличается актуальностью, грамотной постановкой, научной новизной и практической значимостью, содержит большой объем экспериментальных данных.

Автореферат и опубликованные работы отражают все основные положения диссертации. Научные и практические результаты диссертации

представлены в значительном количестве публикаций в рецензируемых научных изданиях, внесенных в Перечень журналов и изданий, утвержденных Высшей аттестационной комиссией.

По нашему мнению, автор диссертации Кищик Анна Алексеевна вполне заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден и одобрен на заседании кафедры материаловедения и физики металлов ФБГОУ ВО УГАТУ 11 мая 2021 г., протокол № 5.

Отзыв подготовлен:

Заведующий кафедрой
материаловедения и физики металлов,
д.ф.-м.н., профессор,
заслуженный деятель науки РБ и РФ

Профессор кафедры
материаловедения и физики металлов,
д.ф.-м.н.



Р.З. Валиев

Н.Г. Зарипов