



Утверждаю

Директор ИФМ УрО РАН

академик РАН

В.В. Устинов

Отзыв ведущей организации

на диссертационную работу Малофеева Сергея Сергеевича
на тему "Влияние методов интенсивной пластической деформации на структуру и
свойства сплавов системы Al-Mg",
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 05.16.01. – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Актуальность темы диссертации

Представленная работа посвящена разработке новых технологий повышения прочностных свойств алюминиевых сплавов, что, несомненно, является важной и актуальной задачей современной науки. Для реализации поставленной в диссертации цели, в качестве основного метода внешнего воздействия на Al-Mg сплавы нового поколения автором выбран метод интенсивной пластической деформации, равноканальное угловое прессование (РКУП). Несмотря на доказанную к настоящему времени эффективность его применения для измельчения структуры и повышения эксплуатационных свойств Al-сплавов, поиск новых, более сложных комбинированных обработок, является своевременным и направлен на решение важной не только научной, но и практической задачи. В частности, в работе рассмотрены вопросы получения качественных сварных соединений из Al-Mg сплавов новым методом сварки трением с перемешиванием (СТП). Новые знания по формированию структуры в условиях комбинированной обработки, объединяющей эти два способа ИПД, значительно расширяют имеющиеся научные представления о механизмах формирования ультрамелкозернистой структуры и дают возможность прогнозировать разработку современных и эффективных технологий получения не только сплавов, но и изделий из них.

Таким образом, актуальность темы диссертационной работы не вызывает сомнений и подтверждается соответствием приоритетным направлениям развития науки и технологий в РФ.

Структура и основное содержание диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав и выводов, изложена на 127 страницах, содержит 58 рисунков и 21 таблицу, библиографический список содержит 205 наименований.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертации. Определены и сформулированы цель и задачи исследований. Описаны научная и практическая значимость работы, личный вклад автора и сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе автор обсуждает современное состояние исследований по теме диссертации. Дан подробный анализ зарубежной литературы, касающейся изучения структуры и свойств алюминиевых сплавов, полученных разными способами интенсивной пластической деформации.

Во второй главе приведено описание объектов и методов исследований. Подробно изложены технологии получения образцов методами РКУП и СТП. Дан перечень методик, применяемых для комплексного изучения структуры и механических свойств материалов после различных деформационно - термических обработок.

В третьей по шестую главу изложены оригинальные экспериментальные данные, полученные диссертантом.

В третьей главе рассмотрены закономерности формирования ультрамелкозернистой структуры в процессе РКУП сплава 1561 и влияние на него частиц вторых фаз. Информативные экспериментальные данные, полученные с помощью просвечивающей микроскопии, сопоставлены с результатами EBSD- анализа и показали, что характеристики формирующейся при РКУП структуры в сплаве 1561 определяются размером и формой частиц фазы Al_6Mn . Подробно рассмотрена эволюция исходной горячепрессованной структуры в рекристаллизованную ультрамелкозернистую (УМЗ) структуру с ростом числа проходов РКУП.

Четвертая глава посвящена анализу механизмов упрочнения алюминиевых сплавов при образовании УМЗ структуры в процессе РКУП. Приведено сравнение экспериментально полученных и расчетных пределов текучести в сплаве 1561 и 1570. Определены вклады твердорастворного, дисперсионного и зернограничного упрочнений в предел текучести для сплавов разного состава.

В пятой главе рассмотрено влияние СТП на структуру и свойства листов из сплавов 1561 и 1570 с крупнозернистой структурой. Проведено сравнение морфологических и размерных характеристик структуры сплавов в исходном состоянии в сварных соединениях. Представлены механические свойства сварных соединений и анализ термической стабильности микроструктуры сварного шва. В результате проведенных экспериментов делается вывод о том, что сварное соединение сплава 1561 обладает большей термической стабильностью, чем сплава 1570.

Шестая глава посвящена изложению результатов относительно влияния СТП на структуру и свойства листов, полученных РКУП и последующей горячей изотермической прокаткой двух УМЗ сплавов. Представлены структуры зон перемешивания и сварного шва, изученные методами EBSD и ПЭМ. Приведены значения микротвердости и механических свойств сварных соединений при испытании на растяжение. Показано, что коэффициент прочности сварного соединения сплава 1570 составил 92%, а сплава 1561-98%.

Приведенные в конце каждой экспериментальной главы выводы суммированы в *заключении*.

Научная новизна результатов диссертационной работы

Среди результатов, полученных при выполнении экспериментальных исследований, новыми являются следующие результаты:

1. Сформулированы закономерности формирования УМЗ структуры в Al-Mg сплавах разного состава в процессе РКУП при повышенных температурах ($T \approx 0,65T_{пл}$). Показана барьерная роль наночастиц вторых фаз, затрудняющих миграцию малоугловых и большеугловых границ при непрерывной динамической рекристаллизации, что способствует образованию в сплаве 1570 ультрамелкозернистой структуры со средним размером зерна менее ~ 800 нм.
2. Установлена природа увеличения прочности Al-Mg сплавов в процессе РКУП при повышенных температурах. Доказана важная роль структурного упрочнения за счёт малоугловых границ с разориентировкой от 2° и более.
3. Изучена возможность получения качественных сварных соединений в Al-Mg сплавах с разным размером зерна методом сварки трением с перемешиванием. Установлено, что высокий коэффициент прочности сварного шва (92-98%) обусловлен формированием рекристаллизованной мелкозернистой структуры.

Научная и практическая значимость результатов диссертационной работы

Научная значимость результатов работы Малофеева С.С. заключается в получении новых знаний о механизмах протекания структурно – фазовых превращений в Al-Mg сплавах при интенсивной пластической деформации.

Наиболее важными и интересными для практического использования являются результаты, описанные в пятой и шестой главах диссертации, которые свидетельствуют о возможности получения качественных сварных соединений Al-Mg сплавов путем внедрения на производстве нового и перспективного способа сварки трением с перемешиванием. Эти результаты могут быть использованы на предприятиях ЗАО "Сеспель", ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, ОАНИАТ и ФГУН ЦНИИ конструкционных материалов "Прометей" им. академика И.В. Горынина.

Кроме того, рекомендованные в диссертации режимы комбинированных деформационно – термических обработок, обеспечивающие увеличение прочности сплавов 1561 и 1570, могут быть использованы для усовершенствования технологии получения ультрамелкозернистых материалов методом РКУП.

Замечания по диссертационной работе

1. В главе 4 автор неверно называет отношение условного предела прочности к условному пределу текучести коэффициентом деформационного упрочнения при растяжении (стр. 77).. Для расчёта коэффициента деформационного упрочнения необходимо пользоваться кривыми деформации в координатах «истинное напряжение-истинная деформация».
2. В диссертации отсутствуют объяснения причин проявления эффекта Портевена – Ле Шателье на кривых растяжения сплавов после РКУП и СТП. Вывод о протекании динамического деформационного старения в процессе таких обработок не подтвержден никакими другими экспериментальными данными.
3. При исследовании закономерностей структурообразования сварных соединений в сплавах 1570 и 1561 автор ограничивается только изучением зоны сварного шва и зон перемешивания, в то время как структуры других зон (термомеханического и термического влияния), которые также определяют свойства материала в целом, в диссертации не обсуждаются.
4. В экспериментальных главах не указаны погрешности определения численных значений различных параметров (механических свойств, размеров зерен, субзерен,

дисперсных частиц и т.д.), хотя во второй главе сказано, что они рассчитывались по средне квадратичному отклонению. На снимках просвечивающей электронной микроскопии (рисунки 3.4 а и 3.15 а) указаны углы разориентировок малоугловых границ с точностью до 0.1° , однако, описания этой методики в диссертации нет.

5. Текст диссертации оформлен достаточно небрежно. Неаккуратно указаны на разных страницах значения одних и тех же величин. Например, доля частиц Al_6Mg , используемая при расчётах (стр. 47 и 87), не соответствует экспериментальным данным, указанным на стр. 43; один и тот же средний размер зерна на стр. 85 и 87 отличается в три раза и т.д. Кроме того, в тексте диссертации встречаются неудачные выражения и опечатки. Так на стр. 49 утверждается, что «микроструктура не может подвергаться непрерывному росту зерен», а на стр. 63 отмечен «рост распределения разориентировок».
6. В литературном обзоре диссертации мало внимания уделено работам, опубликованным в российских журналах, что привело к отсутствию ссылок на фундаментальные статьи по тематике проекта, в частности, на статьи, выполненные сотрудниками ИФМ УрО РАН.

Достоверность и обоснованность результатов исследования

Достоверность результатов представленной работы определяется применением современных апробированных методов структурных исследований с использованием приборов высокого разрешения; применением современных методов обработки экспериментальных результатов; а также соответствием ряда полученных экспериментальных данных результатам, установленным другими экспериментальными методами и опубликованными в научной литературе.

Общая оценка диссертационной работы

В целом диссертация представляет собой законченную научно - квалификационную работу, в которой получены новые и важные экспериментальные результаты. Диссертация имеет все необходимые разделы от постановки задачи, обзора и методов решения задачи до результатов эксперимента, их анализа, выводов и заключения. Материалы работы представлены в 15 статьях, входящих в Перечень ВАК Минобрнауки РФ, и 1 патенте.

Аннотация диссертации и публикации полно и правильно отражают содержание работы.

Диссертационная работа Малофеева С.С. соответствует формуле и п. 2 паспорта специальности 05.16.01 «2. Теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах, происходящих при различных внешних воздействиях».

Заключение

Считаем, что диссертационная работа "Влияние методов интенсивной пластической деформации на структуру и свойства сплавов системы Al-Mg" соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, а её автор – Малофеев Сергей Сергеевич, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01. – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Диссертационная работа и отзыв обсуждены на научном семинаре отдела материаловедения ИФМ УрО РАН 27 января 2017 г (протокол №1).

Зам. директора по научной работе ИФМ УрО РАН
доктор технических наук
тел.: (343)374-00-64; e-mail: @imp.uran.ru



Михаил Васильевич Дегтярёв

Главный научный сотрудник ИФМ УрО РАН
доктор технических наук, профессор
тел.: (343)378-36-11; e-mail: brodova@imp.uran.ru



Ирина Григорьевна Бродова

Отзыв утверждён на заседании Учёного совета ИФМ УрО РАН 1 марта 2017 г.
(протокол № 3).

Учёный секретарь ИФМ УрО РАН
кандидат физ-мат. наук



Т.П.Суркова