

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Гордеевой Маргариты Игоревны «Исследование влияния деформаций, термической обработки и сварки на фазовый состав, текстуру и анизотропию механических свойств материалов авиационной техники из алюминий-литиевых сплавов 1441, 1461 и 1469 », представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Цель диссертационной работы Гордеевой Маргариты Игоревны состояла в совершенствовании количественных методов фазового анализа промышленных алюминий-литиевых сплавов и в исследовании закономерностей влияния деформации, термической обработки и сварки на фазовый состав, текстуру и анизотропию механических свойств сплавов этой системы легирования для повышения надежности эксплуатации изделий авиационной техники из этих сплавов.

Актуальность работы

Из проведенного диссертантом анализа литературных данных явствует актуальность выполненной им работы, направленной на совершенствование методики фазового анализа применительно к алюминий-литиевым сплавам, легированных дополнительно магнием, и изучение закономерностей влияния технологических факторов на особенности структуры и свойств промышленных вариантов этих сплавов, используемых в авиационной технике. Поскольку алюминий-литиевые сплавы обладают самой низкой плотностью и **одновременно самыми высокими упругими свойствами по сравнению с другими** алюминиевыми сплавами, это обстоятельство предопределяет их использование в авиации, тем более, что по показателям удельной прочности, трещиностойкости и коррозионной стойкости эти сплавы превосходят большинство высокопрочных сплавов алюминия. Однако их применение ограничивается рядом существенных недостатков, из которых нужно, прежде всего, отметить их термическую нестабильность, которая проявляется в снижении пластичности и вязкости разрушения при длительных эксплуатационных нагревах. Исследования также требуют вопрос относительно сильной анизотропии, присущей сплавам Al-Li, которую обычно связывают с их кристаллографической текстурой, хотя эта текстура принципиально не отличается от текстуры других сплавов алюминия, для которых характерна лишь незначительная анизотропия.

Сплавы системы Al-Li отличаются сложным фазовым составом, который, кроме твердого раствора на основе алюминия, включает различные стабильные и метастабильные интерметаллидные фазы. Комплекс служебных свойств Al-Li сплавов в значительной степени зависит от количественного соотношения этих фаз, а также размеров частиц, ориентационных соотношений с твердым раствором и типа межфазных границ. В настоящее время, прежде всего в США и России, разработано много промышленных алюминиевых сплавов с литием, однако до сих пор не ясно, какую роль играют основные интерметаллидные фазы в формировании их тех или

иных служебных свойств. Во многом это связано с отсутствием количественных корреляций между химическим составом, структурно-фазовым состоянием и свойствами сплавов системы Al-Cu-Li-Mg к которым относится значительная часть промышленных алюминий-литиевых сплавов.

В этой связи очевидна актуальность диссертационной работы Гордеевой М.И., в которой и развиваются количественные методы фазового анализа сплавов системы Al-Cu-Li-Mg, и исследуются закономерности влияния технологических факторов при деформации, термической обработке и сварке сплавов на их фазовый состав, текстуру, остаточные напряжения и анизотропию механических свойств.

Научная новизна работы

Научная новизна диссертации обусловлена содержащимися в ней методическими разработками и установленными с их помощью закономерности поведения исследуемых сплавов при деформации, термической обработке и сварке. Важную роль в формировании комплекса свойств сплавов системы алюминий-литий играют интерметаллидные фазы, выделяющиеся в сплавах в процессах деформации и термической обработки и во многом определяющие как достоинства, так и недостатки сплавов. В рассматриваемых сплавах может образовываться целый ряд интерметаллидных фаз - δ' -фаза (Al_3Li) с кубической структурой, T_1 -фаза (Al_2CuLi) с гексагональной решеткой, θ' -фаза (Al_2Cu) с тетрагональной решеткой, T_2 -фаза (Al_6CuLi) с кубической решеткой, S' -фаза (Al_2CuMg) с орторомбической решеткой, β' -фаза (Al_3Zr) с кубической решеткой. Для всех этих фаз ранее были определены параметры решетки и ориентационные соотношения с α -матрицей. Приведенный неполный перечень интерметаллидных фаз, образующихся в двойных и тройных алюминиевых сплавах, дает представление о чрезвычайной сложности системы, исследуемой в диссертации Гордеевой М.И. Существует насущная необходимость в создании надежной методики количественного фазового анализа алюминий-литиевых сплавов в связи с обязательностью поддержания стабильности их механических свойств на весь период их службы.

Поэтому важным результатом рецензируемой работы является усовершенствование метода количественного фазового анализа применительно к сплавам системы Al-Cu-Li-Mg. По существу, это дальнейшее развитие методики, которая разработана и была доложена в диссертации Князева М.И. для системы Al-Cu-Li. Однако, предложенная Гордеевой М.И. методика и соответствующая компьютерная программа расчета фазового состава вполне самостоятельны и прошли государственную регистрацию. Причем, как их принципиальное достоинство, следует отметить тот факт, что в данной работе дополнительно к имевшему до сих пор место расширению области применения методики от двойных к тройным системам, было найдено относительно простое решение для четверной системы.

Нужно отметить, что уравнения баланса химического и фазового состава в сочетании с законом Вегарда дают однозначное решение только для двойных систем (Al-Mg, Al-Cu). Переход к тройной системе Al-Cu-Li потребовал введения

определенных допущений, в частности - величины содержания лития в твердом растворе, которая вводилась на основании равновесных концентраций лития по литературным данным. Переход к четверной системе оказался возможным при допущении, что магний не создает самостоятельной фазы, и, кроме твердого раствора, содержится также в δ' -фазе (Al_3Li); причем концентрация Mg в этой фазе равна его концентрации в твердом растворе, как это следует из нескольких литературных источников.

Важно то, что в работе удалось не просто дать уравнения для определения соотношения интерметаллидных фаз для 24 промышленных сплавов и практически для любых Al-Cu-Li-Mg сплавов, но также показать какие фазовые изменения вносят даже небольшие добавки магния в тройные сплавы Al-Cu-Li. Расчетным путем показано, что 1% магния всего на 0,4% увеличивает долю интерметаллидных фаз в сплавах Al-Cu-Li-Mg, но при этом существенно, что увеличение концентрации магния в твердом растворе сопровождается заметным увеличением периода решетки на $\sim 0,004 \text{ \AA}$. Это очень существенное увеличение периода решетки, эквивалентное снижению концентрации меди в нем на $\sim 2\%$, что должно оказывать влияние на все свойства сплавов и должно учитываться при оптимизации составов современных алюминий-литиевых сплавов.

Показано, что разработанные методики оценки количественного соотношения интерметаллидных фаз в алюминиевых сплавах позволяют эффективно оценивать объемные изменения в сплавах при термообработке и пластической деформации. В работе рассчитаны объемные эффекты превращения для целого ряда алюминиевых сплавов. Сделана удачная попытка интерпретации результатов измерения остаточных напряжений при сварке трением с перемешиванием (СТП) с позиций объемных эффектов фазового превращения.

До сих пор нет полной ясности в вопросах приоритета тех или иных интерметаллидов в рассматриваемых сплавах с точки зрения вызываемого ими упрочнения, что объясняет интенсивность поиска новых эффективных композиций, продолжающегося уже несколько десятков лет в США и России. С помощью прокатки клиновых образцов с непрерывно меняющейся деформацией вдоль оси образца исследовали механизм влияния предварительной деформации на упрочняющий эффект последующего многоступенчатого старения. Хотя такая деформация неоднократно использовалась при термообработке листовых полуфабрикатов, при этом отсутствовало внятное объяснение необходимости этой операции. Диссертанту впервые удалось выявить механизм этого эффекта, заключающийся в том, что с увеличением деформации в интервале 4-6% увеличивается доля T_1 -фазы, которая является основной упрочняющей фазой в алюминий-литиевых сплавах.

Практическая значимость работы

Практическая значимость диссертации Гордеевой М.И. становится очевидна при рассмотрении возможных приложений полученных результатов в рамках конкретных технологических исследований применительно к российским алюминиевым сплавам. Прежде всего, необходимо отметить метод количественного фазового анализа для сплавов Al-Cu-Li-Mg, к которым относятся большинство сплавов алюминия с литием. Соответствующая расчетная программа, зарегистрированная под (№2016663886), позволяет определять количества γ - и δ -фаз в сплавах системы Al-Cu-Li-Mg. Предложенный метод дает возможность не только оценивать соотношение интерметаллидных фаз, но также на основании изменения этого соотношения при различных технологических воздействиях оценивать объемные эффекты превращения и прогнозировать величины остаточных напряжений. Этот метод является важным вкладом в материаловедение алюминий-литиевых сплавов и может быть эффективно использован при разработке новых сплавов и оптимизации технологических режимов обработки сплавов, уже существующих.

Две последние главы диссертации посвящены применению разработанной методики фазового анализа к исследованию практически важных материалов для авиационной техники, к каковым относятся элементы, подвергнутые сварке трением с перемешиванием (СТП), металлические компоненты слоистых алюмокомпозитов в виде тонких листов сплавов 1441 и В-1469, а также фрагменты толстых плит толщиной 80 мм из сплава В-1461. Так, исследование влияния холодной прокатки, предваряющей трехступенчатое старение плит из сплава В-1461 показало, что для того, чтобы избежать неоднородности свойств в плитах из сплавов Al-Cu-Li необходимо повысить степень предварительной деформации и ее однородность, заменив растяжение на 2-3% холодной прокаткой с обжатием не менее 5-6%.

Исследования распределения фазового состава, остаточных напряжений, текстуры и твердости по зонам сварного соединения позволили показать, что пиковые значения растягивающих напряжений и аномальные значения твердости концентрируются в переходной области между зоной перемешивания и зоной термического влияния и связаны со специфическими фазовыми изменениями, вызванными совместным действием температуры и сдвиговых напряжений в этих зонах. Формирование в определенных зонах СТП пиковых растягивающих остаточных напряжений обусловлено процессами выделения или растворения интерметаллидных фаз, что позволяет использовать обнаруженные закономерности для выявления наиболее эффективных способов оптимизации служебных свойств сварных соединений из сплавов системы Al-Cu-Li. Обнаруженные количественные корреляции твердости, остаточных напряжений и фазового состава дают четкие критерии поиска корректирующих термообработок для повышения однородности уровня прочностных свойств и снижения пиковых напряжений при СТП,

рассматриваемой как наиболее перспективная технология сварки для изделий из высокопрочных алюминиевых сплавов с литием.

Достоверность результатов и выводов работы.

Достоверность результатов, рекомендаций и выводов работы обеспечивается рациональным использованием современных методических подходов и их усовершенствованием применительно к особенностям материала исследования. Важно, что в некоторых случаях количественный фазовый анализ на основе периодов решетки сочетается с прямыми наблюдениями рефлексов интерметаллидных фаз на рентгенограммах. Результаты изучения анизотропии прочностных свойств на основе механических испытаний интерпретируются с помощью сопоставления этих результатов с параметрами анизотропии, рассчитанными из соответствующих текстурных данных, что повышает достоверность результатов и выводов работы.

Замечания по работе

Диссертация Гордеевой М.И. не лишена недостатков, среди которых надо отметить следующие:

(1) Предложенный диссертантом метод расчета фазового состава для случая четверной системы в значительной мере основывается на сведениях о равенстве концентраций магния в δ' -фазе (Al_3Li) и твердом растворе, почерпнутых из литературных источников. По-видимому, это обстоятельство не снижает практической полезности предложенного метода расчета, но порождает сомнения в его оригинальности.

(2) Хотя в названии рецензируемой диссертации присутствует термин «текстура», нельзя считать, что основным текстурным аспектам исследуемой проблематики автором работы уделено достаточное внимание. Это касается и рентгеновских методов экспериментального изучения текстуры, и интерпретации ряда полученных данных. Так, в работе отсутствуют данные о текстуре в виде прямых полюсных фигур, которые позволили бы, в частности, оценить симметрию текстуры по отношению к системе координат, связанной с геометрией прокатки, что особенно важно при рассмотрении сварки трением.

(3) Рассчитанные объемные эффекты превращения достаточны для оценки линейных эффектов только для изотропных случаев, тогда как в большинстве исследуемых в работе ситуаций из текстурированной матрицы выделяются когерентные фазы и в этом случае линейные эффекты могут сильно отличаться от третьей части объемного эффекта, как это оценивают для изотропных случаев.

(4) Диссертант пренебрегает реальной возможностью исследовать кристаллографическую текстуру интерметаллидных фаз, содержание которых, - например, T_1 -фазы – доходит в некоторых образцах до 20%, позволяя получать от них

достаточно интенсивные дифракционные линии. Полученная в результате информация была бы чрезвычайно полезна и в научном, и в практическом отношениях.

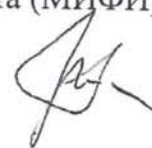
(5) Вызывает вопросы правомерность ряда положений, явно или неявно фигурирующих в диссертации: рентгеноаморфные выделения интерметаллидов, степень когерентности выделений и ее связь с остаточными напряжениями, достаточность имеющихся структурных параметров для оценки анизотропии механических свойств.

Учитывая, что диссертация Гордеевой М.И. представлена на соискание ученой степени кандидата технических наук, а не физико-математических, и не претендует на доскональное исследование физических аспектов процессов, протекающих в алюминиевых сплавах при их технологической обработке, сделанные замечания могут рассматриваться всего лишь в качестве рекомендаций по совершенствованию представленного в диссертации рассмотрения и по усилению в нем теоретической компоненты.

В целом рецензируемую диссертационную работу можно рассматривать как существенный вклад в методическое и научное обеспечение исследований системы Al-Cu-Li-Mg, позволяющий повысить эффективность исследований и разработок в этой перспективной области материаловедения авиационных материалов. Автореферат и опубликованные работы отражают ее основные результаты.

По объему представленных в диссертации экспериментальных данных, по их научной новизне и практической значимости автор работы Гордеева Маргарита Игоревна достойна присуждения ей степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Официальный оппонент Перлович Юрий Анатольевич,
доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Физика прочности»
Национального Исследовательского Ядерного Университета (МИФИ)



Почтовый адрес: 115409, г. Москва, Каширское шоссе, 31
ГУ ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Электронный адрес: yuperl@mail.ru

Подпись удостоверяю
Заместитель начальника отдела
документационно-информационного обеспечения
НИЯУ МИФИ



29.11.2011 г. Подпись -

Маргарита Игоревна Гордеева