



«01» 04 2016 г.  
На № \_\_\_\_\_

№ 1000/17-48  
г. \_\_\_\_\_

127051, г. Москва, ул. Петровка 24  
ИНН 7707028980, КПП 770701001  
Тел.: (495) 312-30-27  
Тел./Факс: (495) 311-03-23  
E-mail: info@niiat.ru

«УТВЕРЖДЕНО»

Генеральный директор  
д.т.н., проф. Плихун В.В.



### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Князева Максима Игоревича «Разработка количественных методов исследования фазового состава, текстуры и анизотропии свойств алюминий-литиевых сплавов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

#### Актуальность работы.

Многочисленные исследования современных алюминиевых сплавов с литием показали, что высокие эксплуатационные свойства этих сплавов достигаются с помощью усложнения их состава, что, в свою очередь, приводит к усложнению технологии получения полуфабрикатов. В тоже время, необходимость получения требуемого высокого уровня эксплуатационных свойств дополняется необычным сложным комплексным характером корреляций: состав, структура, технология, служебные свойства. Сплавам с литием, при наличии анизотропии и неоднородности механических свойств по сечению полуфабрикатов, присущ эффект охрупчивания при длительных эксплуатационных нагревах. Данный эффект обусловлен фазовой и структурной нестабильностью, а также ярко выраженной кристаллографической текстурой, которая формируется в сплавах на всех этапах получения полуфабрикатов и изделий. Для исследования структурных особенностей сплавов с литием, установления закономерностей их превращений и обоснованности интерпретации полученных результатов, необходимо разработать количественные методы фазового анализа этих сплавов, а также усовершенствовать методы оценки

анизотропии механических свойств на основании экспериментальных данных о текстуре твердого раствора и интерметаллидных фаз. Такой подход к исследованию структурных превращений данных сплавов определяет актуальность диссертационной работы Князева М.И., направленной на разработку количественных методов фазового анализа и совершенствование количественных методов исследования текстуры и анизотропии механических свойств алюминий-литиевых сплавов.

### **Научная новизна.**

Научная новизна данной работы заключается в разработке принципиально нового метода количественного фазового анализа сплавов системы Al-Cu-Li, основанного на экспериментальном определении периода решетки твердого раствора алюминия. Методика основана на анализе соотношений, учитывающих изменение периода решетки твердого раствора в зависимости от содержания легирующих элементов (закон Vegarda), а также балансе химического и фазового состава сплава с учётом наличия твердого раствора и интерметаллидной фазы, что является выражением достоверности результатов исследований. Фактически для того, чтобы этот метод был эффективен необходимо, чтобы легирующие элементы оказывали влияние на период решетки и характер этого влияния был бы известен. Из этого следует, что аналогичный метод может быть разработан применительно к другим сплавам на основе алюминия. В этом, нам представляется важность этой работы. Для алюминиевых сплавов количественный фазовый анализ сопряжен с рядом принципиальных трудностей, в первую очередь из-за того, что интерметаллидные фазы присутствуют в них в дисперсном виде (<10 нм), что делает невозможным их обнаружение непосредственно на рентгенограмме, при этом влияние на период решетки твердого раствора от выделения этих фаз не зависит от их размера, а зависит только от суммарного количества легирующего элемента, выделившегося из твердого раствора в виде соответствующего интерметаллида.

Важным результатом работы является совершенствование метода представления текстуры, а именно метода обратных полюсных фигур. Этот метод является предпочтительным для использования для контроля текстуры промышленных объектов, однако, для алюминиевых сплавов его применение ограничено из-за недостаточного количества измеряемых рефлексов на полюсной фигуре. В работе предложен новый подход, основанный на определении полюсной плотности «двойных» рефлексов, позволяющий увеличить количество измеряемых рефлексов на полюсной фигуре и повысить за этот счет информативность метода обратных полюсных фигур.

### **Практическая значимость работы.**

Практическая значимость разработанного метода количественного фазового анализа является возможность сопоставления вариаций фазового состава для уже известных сплавов и тех, которые могут быть разработаны в будущем. Предлагаемый метод дает возможность по новому проанализировать соотношение между составом и служебными свойствами известных промышленных сплавов и на этой основе выявить количественные корреляции между этими характеристиками и найти направления оптимизации состава сплавов для обеспечения необходимого комплекса служебных свойств.

Результаты анализа причин неоднородности прочностных свойств в 80 мм плите сплава В1461 имеют большое практическое значение. Исследования работы показали, что неоднородность свойств обусловлена различием текстуры по сечению плиты, которая формируется при его прокатке и эта текстура не меняется при последующей термической обработке, включающей закалку, правку растяжением и трехступенчатое старение, что позволило сделать однозначный вывод о том, что варьированием термической обработки невозможно изменить неоднородность механических свойств, хотя в большинстве случаев для толстых плит характерна неоднородность свойств, обусловленная наличием эффекта градиента скорости охлаждения по сечению плиты, который может быть скомпенсирован оптимизацией условий термической обработки. В этом случае с помощью количественных методов оценки текстуры и ориентационных факторов упрочнения оказалось возможным избежать неэффективных в данном случае попыток поиска технологии термической обработки, что могло бы привести к значительным затратам в виду сложного характера многоступенчатой термической обработки.

#### **Достоверность полученных результатов**

Подтверждается тем, что все основные научные выводы и рекомендации получены с помощью комплексного исследования структуры, фазового состава и механических свойств алюминий-литиевых сплавов с использованием современных высокоэффективных приборов и установок. Автору удалось подтвердить выделения интерметаллидных фаз (дельта-штрих, тэта и  $T_1$ -фазы) не только по параметру решетки, но и непосредственно на рентгенограммах.

#### **Замечания.**

В качестве замечаний можно отметить:

1. При выводе уравнений для количественной оценки интерметаллидных фаз рассматриваются только две фазы ( $\delta'$ - и  $T_1$ -фазы), однако на рис. 4.8-4.11, приведены рентгенограммы сплава, на которых кроме этих двух фаз

присутствует отчетливый рефлекс  $\Theta'$ -фазы. На основании этого возникает вопрос: какая роль отводится этой фазе в уравнении количественной оценки интерметаллидных фаз?

2. На рис.5.1 (стр.126) приведены распределения по сечению плиты значений твердости, которые показывают существенные изменения твердости только после двух последних этапов трехступенчатого старения, при этом вариации твердости по сечению плиты аналогичны для всех трех этапов старения, к сожалению этот эффект не получил объяснения в работе.

3. В диссертации сделан содержательный анализ литературных источников по теме диссертации, однако отсутствуют выводы по этому разделу работы.

4. Работа достаточно аккуратно оформлена, однако присутствуют неточности, так в главе 4 имеется ошибка в нумерации рисунков.

Сделанные замечания носят в основном дискуссионный характер и не снижают научной ценности и практической значимости диссертационной работы.

#### **Заключение.**

Диссертационная работа Князева Максима Игоревича является законченной научно-квалификационной работой в которой на основании разработанных автором количественных методов фазового анализа, определения текстуры и расчета факторов анизотропии сплавов системы Al-Cu-Li, установлены важные закономерности поведения этих сплавов при пластической деформации и термической обработке, на основании которых сформулированы технологические решения, внедрение которых вносит заметный вклад в развитие экономики страны

По актуальности решенной проблемы, научной новизне, практической значимости результатов, объёму и оформлению диссертация удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автореферат и опубликованные работы полностью отражают структуру и содержание диссертации, а её автор Князев Максим Игоревич заслуживает присуждения искомой учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Диссертация, автореферат и отзыв на диссертационную работу обсуждены 30.03.2016 г. протокол № 2 на заседании НТС ОАО НИЛТ.

Главный научный сотрудник,  
д.т.н. профессор

 Петров Л.М.