

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Яковлева Александра Алексеевича «Исследование и разработка технологии получения слитков алюминиевых сплавов системы Al-Cu-Mn-Zr-Sc с целью изготовления из них деформированных полуфабрикатов без использования операций гомогенизации и закалки», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04 – «Литейное производство»

Одним из существенных недостатков термически упрочняемых алюминиевых сплавов, препятствующих их более широкому использованию, является ограничение температурной области их эксплуатации относительно низкими температурами. Причем это касается и наиболее жаропрочных сплавов на базе системы Al-Cu: типа 1201, Д16, АК4-1. Коагуляция упрочняющих фаз при температурах, не превышающих 250 °С, приводит к разупрочнению сплавов. При этом технология получения деформированных полуфабрикатов из слитка требует многоступенчатой, энергозатратной термообработки, включающей в себя длительную гомогенизацию, закалку и искусственное старение. Разработка составов сплавов и технологии производства слитков и деформированных полуфабрикатов из них, в которых упрочнение достигается за счет фаз, образованных переходными металлами является весьма перспективной задачей. решение которой позволит увеличить температурную область эксплуатации алюминиевых сплавов (это связано с тем, что скорость диффузии переходных металлов в алюминии на 2-3 порядка ниже чем скорость диффузии фаз, образованных традиционными легирующими компонентами (Cu, Zn и др.). Этот принцип создания жаропрочных сплавов с повышенным содержанием переходных металлов реализован в разработанных в ВИЛСе, под руководством В.И.Елагина и В.И.Добаткина. быстрозакристаллизованных сплавах, в частности. например, в сплаве 1419. Однако технология получения деформированных полуфабрикатов из быстрозакристаллизованных сплавов слишком многооперационная, дорогая, что сильно ограничивает возможность их

широкого использования. Поэтому поставленная в представленной работе задача разработки экономичной технологии изготовления сплавов с повышенной температурой эксплуатации является, безусловно, актуальной. .

Ключевыми стадиями предлагаемой диссертантом технологии являются режимы плавки и литья, которые определяют структурное состояние исходных литых заготовок (слитков). Автор совершенно точно выбрал принцип легирования сплавов переходными металлами - при выборе элементов внимание уделялось их максимальной растворимости в алюминиевом твердом растворе и способности повышать прочностные свойства.

Ключевым, среди выбранных элементов, является цирконий. В России сплавы с повышенным содержанием этого элемента ( $>0,3\%$ ) до последнего времени не использовались, однако есть потребность в них. Ряд широко известных зарубежных компаний, таких как: Lamifil (Бельгия), 3М (США), J-Power Systems (Япония) и другие, ведут разработки в области создания жаропрочных сплавов, в которых используется именно система Al-Zr. Назначение малой добавки циркония состоит в том, чтобы сформировать в конечной структуре наночастицы фазы  $Al_3Zr$  ( $L1_2$ ), которые позволяют резко повысить температуру рекристаллизации.

### **Научная новизна**

Безусловно научной новизной представленной работы является установленная автором область концентраций легирующих компонентов 1-2%Cu, 1-2%Mn, 0,2-0,4%Zr и до 0,1%Sc, при которой можно получить структуру с высокой объемной долей вторичных фаз содержащих Cu, Mn, Zr, Sc, что способствует повышенной жаропрочности сплава, а также возможность получения слитка с почти однофазной структурой, с минимальной долей глобулярных фаз  $Al_2Cu$ , что обеспечивает возможность отказаться от операции гомогенизации.

Кроме того, установленные автором, на основе исследования зависимости изменения структуры от технологических параметров плавки, литья и деформационной-термической обработки, закономерности, позволяющие



добиться высоких механических свойств полуфабрикатов, несомненно также являются научной новизной работы.

### **Практическая значимость**

Разработанные автором, при выполнении настоящего исследования, рекомендации успешно прошли апробацию в цехе опытного производства для изготовления слитков. При производстве конкретной продукции предложенная технология получения слитков позволит получить значительный экономический эффект, что весьма важно для повышения эффективности производства и конкурентной способности предприятия.

Особо следует отметить, что разработанный автором режим деформационно-термической обработки является энерго- и ресурсосберегающим.

### **Структура работы**

Текст диссертации включает введение, 7 глав основного текста (с выводами по каждой главе), общие выводы, список литературных источников и 2 приложения. Текст диссертации и автореферата написан хорошим литературным языком, с приведением большого количества иллюстраций. Основные положения диссертации и выводы в полном объеме отражают ее содержание и полученные результаты.

В первой главе работы рассматриваются основные системы легирования, структура, свойства и способы получения жаропрочных деформируемых алюминиевых сплавов.

Во второй главе приведены современные методики исследования. Стоит отметить объем, разнообразие и описание применяемых экспериментальных работ.

В третьей главе приведены полученные в программе Thermo-Calc результаты фазового состава сплавов на системы Al–Cu–Mn–Zr–Sc. Показаны области концентрации легирующих элементов, в которой возможно получить однофазную литую структуру, благоприятную для проведения деформационной обработки слитков без использования гомогенизации.

В четвертой главе изучено экспериментальным путем влияние легирующих элементов и примесей на литую структуру предлагаемого сплава и модельных сплавов. Показана возможность получения литой структуры, которая благоприятна для проведения деформационной обработки слитков без использования гомогенизации.

В пятой главе изучено экспериментальным путем влияние деформационно-термической обработки на процесс образования фазы  $Al_3Zr$  L1<sub>2</sub>. В работе экспериментальным путем установлена упрощенная энергосберегающая технология получения деформированных полуфабрикатов (в сравнении с марочными жаропрочными алюминиевыми сплавами).

В шестой главе приведены полученные результаты отработки различных режимов получения слитка, применительно к методу непрерывного горизонтального литья. Автор показывает, что разработанные рекомендации успешно прошли апробацию в цехе опытного производства для изготовления слитков.

В седьмой главе приведены физические, механические и эксплуатационные свойства предлагаемого сплава и марочного сплава 1201, испытанных при комнатной температуре и при 300 °С.

#### **Достоверность результатов и выводов**

Достоверность результатов подтверждается применением современных методов и методик исследования, сходимостью полученных расчетных и экспериментальных данных.

Основные положения данного исследования докладывались и обсуждались на международных конференциях, опубликованы в восьми печатных работах. Автором получено свидетельство о регистрации ноу-хао.

Все изложенное не составляет сомнений в положительной оценке диссертационной работы Яковлева А.А. в целом.

По диссертации имеются некоторые **замечания:**



1) Хотя вопросы оптимального соотношения скандия и циркония в сплавах изучались многими исследователями, автору, применительно к сплаву АЛТЭК следовало бы уделить этому внимание.

2) Содержание меди в количестве 1-2% является, согласно работам И.И.Новикова, достаточно опасным с точки зрения склонности к образованию горячих трещин. Автору следовало оценить горячеломкость сплава.

3) Учитывая, что фазы скандия и циркония уменьшают устойчивость твердого раствора, возможно следовало бы изучить вопросы прокаливаемости сплава АЛТЭК.

4) В работах ряда ученых (Л.Б.Бер, В.В.Белоцерковец и др.) показано, что фаза  $L1_2$  образуется цирконием в метастабильном состоянии. В равновесном состоянии цирконий образует фазу с другой решеткой, однако в работе этому не уделено внимание.

5) Вряд ли следует отнести к «важным практическим результатам» установленную автором необходимость принудительного перемешивания расплава при производстве слитков системы Al-Cu-Mn-Zr-Sc.

Высказанные замечания не затрагивают основных положений диссертации и не снижают научной и практической ценности диссертационного исследования.

### **Заключение.**

Диссертационное исследование Яковлева А.А. является законченной научно-исследовательской работой, имеет научную новизну и практическую значимость. Содержание и тема диссертации соответствует паспорту научной специальности 05.16.04 – «Литейное производство.»

Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Результаты работы достаточно широко опубликованы. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

В диссертационной работе Яковлева Александра Алексеевича содержатся научно обоснованные технические и технологические решения и разработки, направленные на расширение использования алюминиевых сплавов в

промышленности и, в частности, в условиях эксплуатации при повышенных температурах.

Диссертация «Исследование и разработка технологии получения слитков алюминиевых сплавов системы Al-Cu-Mn-Zr-Sc с целью изготовления из них деформированных полуфабрикатов без использования операций гомогенизации и закалки» соответствует требованиям п. 9 положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК Российской Федерации (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013г. №842), а ее автор Яковлев Александр Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04 – «Литейное производство».

Официальный оппонент,  
главный научный сотрудник  
ОАО «ВИЛС», профессор, д.т.н.

121596, Россия, г. Москва, ул. Горбунова, д. 2  
Тел.: +7 (495) 287-74-00\*3083  
e-mail: konkevich@mail.ru

*Конкевич В.Ю.*

Конкевич В.Ю.

27.05.2015

Подпись главного научного сотрудника ОАО «ВИЛС», профессора, д.т.н.  
Конкевича В.Ю. заверяю.

Заместитель начальника отдела  
управления персоналом ОАО «ВИЛС»

*Е.В. Михайлова*



121596, Россия, г. Москва, ул. Горбунова, д. 2  
Открытое акционерное общество  
Всероссийский институт легких сплавов  
Тел.: +7(495)287 -74-00\*1220  
e-mail: info@oaovils.ru



## **Приложение к отзыву Конкевича В.Ю.**

Конкевич Валентин Юрьевич – доктор технических наук по специальности 05.02.01 Материаловедение (машиностроение), защита в МАТИ, 1998г, профессор.

Основное место работы и должность на момент написания отзыва:

ОАО «Всероссийский институт легких сплавов» («ВИЛС»), главный научный сотрудник.

Почтовый адрес: 121596, Россия, г. Москва, ул. Горбунова, д. 2

Тел.: +7 (495) 287-74-00

e-mail: konkevich@mail.ru

### **Список основных публикаций Конкевича В.Ю. за 2010-2015 гг., близких по теме диссертации Яковлева А.А.:**

1. Кирилянчик А.С., Конкевич В.Ю. Деформируемые полуфабрикаты из наноструктурных частиц быстрозакристаллизованных алюминиевых / Кирилянчик А. С., Конкевич В. Ю. // Технология машиностроения. - 2010. - № 4. - С. 5-7.
2. Конкевич В.Ю., Лебедева Т.И. Развитие металловедения гранулируемых алюминиевых сплавов и технологии их производства / Конкевич В.Ю., Лебедева Т.И. // Технология легких сплавов. - 2013. - № 4. - С. 113-123.
3. Осинцев О.Е., Конкевич В.Ю. О роли основных компонентов и переходных металлов в высокопрочных быстрозакристаллизованных сплавах системы Al-Zn-Mg-Cu / Осинцев О. Е., Конкевич В. Ю // Технология легких сплавов. - 2014. - № 2. - С. 57-64.
4. Конкевич В.Ю., Лебедева Т.И., Кирилянчик А.С., Первов М.Л. Наследование свойств литой структуры быстрозакристаллизованных алюминиевых сплавов деформированными полуфабрикатами / Конкевич

В.Ю., Лебедева Т.И., Кирилянчик А.С., Первов М.Л. // Технология легких сплавов. - 2010. - № 2. - С. 49-58.

5. Конкевич В.Ю., Лебедева Т.И., Тарануха Г.В. Быстрозакристаллизованный сплав на основе алюминия для изготовления поршней. Патент РФ № 2468105, публикация 27.11.2012.

6. Конкевич В.Ю., Лебедева Т.И., Бочвар С.Г. Способ производства заготовок из быстрозакристаллизованных алюминиевых сплавов. Патент РФ № 2467830, публикация 27.11.2012.

Официальный оппонент,

главный научный сотрудник

ОАО «ВИЛС», профессор, д.т.н



Конкевич В.Ю.



Россия, 141400, Московская область,  
г. Химки, ул. Рабочая, д. 2 А  
Тел./Факс: + 7 (495) 573-34-28

2 A, Rabochaya Str.  
Moscow region, 141400, Russia  
Ph./Fax: + 7 (495) 573-34-28

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу  
Яковлева Александра Алексеевича на тему:

**«Исследование и разработка технологии получения слитков алюминиевых сплавов системы Al-Cu-Mn-Zr-Sc с целью изготовления из них деформированных полуфабрикатов без использования операций гомогенизации и закалки»**

По специальности 05.16.04 – «Литейное производство».

Для дальнейшего развития авиационной и космической промышленности необходимо создание новых по составу материалов, обладающих малой плотностью и достаточно высокими механическими свойствами при повышенных температурах, что позволит повысить эксплуатационные характеристики летательных аппаратов с одновременным уменьшением экономических показателей при их производстве на металлургических заводах. В настоящее время такими материалами являются сплавы на базе системы Al-Cu-Mn, но при повышенных температурах они сильно разупрочняются.

Поэтому разработка новых по составу алюминиевых деформируемых сплавов и создание оптимальных технологических режимов для производства из них слитков и деформированных полуфабрикатов является актуальной задачей.

**Целью** представленного на оппонирование труда, явилось научное обоснование составов новых сплавов, разработка технологии получения слитков и деформированных полуфабрикатов из сплавов на базе системы Al-Cu-Mn-Zr-Sc, что позволяет сократить технологический цикл их изготовления и повысить механические свойства при повышенных температурах. Таким образом, работа Яковлева А.А. направлена на решение важной научной и практической задачи.

Представленная диссертационная работа состоит из введения, 7 глав, общих выводов и 2 приложений. Работа изложена на 211 страницах, содержит 101 рисунок, 64 таблицы и 4 формулы. Библиографический список включает 145 источников; написана грамотным техническим языком, что подтверждает хорошую эрудицию соискателя.

Во **введении**, обоснована актуальность темы, определены цель и задачи исследования, приведены основные положения и результаты, вынесенные на защиту.

В **первой главе** (обзор литературы) работы Яковлева А.А. проанализированы основные системы легирования современных жаропрочных деформируемых алюминиевых сплавов. Показаны структура, свойства стандартных жаропрочных сплавов и способы их получения. Особое внимание соискателя уделено перспективному направлению создания новых жаропрочных алюминиевых сплавов, легированных переходными металлами. Основываясь на анализе литературных данных, сформулированы требования к жаропрочным деформируемым алюминиевым сплавам нового поколения и обоснована необходимость создания научных основ технологии получения слитков из жаропрочного алюминиевого сплава АЛТЭК на базе системы Al–Cu–Mn–Zr–Sc.

В качестве замечания можно отметить, что при анализе машин непрерывного литья можно было бы уделить большое внимание вертикальному литью, как основному при производстве деформированных полуфабрикатов.

Во **второй главе** приведены объекты исследования и методики изучения. Стоит отметить объем и разнообразие проводимых экспериментальных работ. В этой главе подробно описаны методики приготовления основных и модельных исследуемых сплавов, определения физических и механических свойств.

В качестве замечания можно рекомендовать проведение испытаний на большем числе образцов.

В **третьей главе** приведены результаты расчетного анализа фазовых составов на базе системы Al–Cu–Mn–Zr–Sc (с использованием программы Thermo-Calc). Показана теоретически рассчитанная область концентрации легирующих элементов по меди и марганцу, в которой возможно получить структуру только из вторичных выделений жаропрочных и упрочняющих фаз:  $\text{Al}_{20}\text{Cu}_2\text{Mn}_3$  и  $\text{L}_{12} (\text{Al}_3\text{Zr})$ . Практическим



результатом проделанной работы, подтверждающим правильность сделанных выводов и выбранных методов исследования, явилось создание нового состава сплава АЛТЭК.

**В четвертой главе** изучены закономерности формирования литой структуры в процессе влияния легирующих элементов и примесей на литую структуру слитков сплава АЛТЭК и модельных сплавов на базе системы Al-Cu-Mn. При проведении металлографического анализа модельных сплавов системы Al-Cu-Mn показано, что медь оказывает существенное влияние на микроструктуру в литом состоянии. С ростом содержания меди в сплаве увеличивается количество фазы  $Al_2Cu$  эвтектического происхождения и меняется ее морфология, что представляет научный и практический интерес. На основании этого исследования показана принципиальная возможность упрощения технологической цепочки на производстве. Основаны с использованием рассчитанных и экспериментальных методов технологические параметры производства слитков с содержанием циркония до 0,5%.

**В пятой главе** приведено исследование процесса образования фазы  $L1_2$  ( $Al_3Zr$ ) и решение вопросов оптимизации режимов термообработки деформированных полуфабрикатов. В работе экспериментальным путем установлено, что максимального упрочнения сплав АЛТЭК достигает при термообработке, включающей отжиг при температуре от 400 до 450 °С, с выдержкой 3 часа. Полученные данные подкреплены металлографическим анализом структуры сплава методом просвечивающей микроскопии. На примере вышеописанного исследования также показана возможность упрощения технологической цепочки на производстве, в частности снижения температуры и времени термообработки. На основании полученных данных необходимо продолжить работы по разработке новых сплавов на основе системы Al-Mg-Si с доставкой циркония до 0,5%.

**В шестой главе** приведены результаты отработки различных технологических схем получения слитка, применительно к методу непрерывного горизонтального литья. Автор показывает, что при строгом соблюдении разработанной им технологической рекомендации были получены годные слитки, без дефектов литейного происхождения и с такой структурой их можно подвергать деформационной обработке без гомогенизации.

**В седьмой главе** приведены базовые физические, механические и эксплуатационные свойства сплава АЛТЭК, испытанного при комнатной и

повышенной температурах в сравнении с промышленными аналогами.. Показано, что данные сплавы в виде деформированных полуфабрикатов (листов) в стабилизированном состоянии обладают существенно большей прочностью по сравнению с стандартными сплавами (типа 1201).

В целом, анализируя представленную работу, можно констатировать:

Полученные автором результаты весьма оригинальны, имеют все признаки научной новизны, это прежде всего:

- расчетным и экспериментальными методами приведен количественный анализ фазового состава сплавов системы Al-Cu-Mn-Zr-Sc;
- обоснована область концентрации легирующих элементов- меди и марганца- с целью получения однофазной структуры;
- изучено влияние температуры отжига на упрочнение и электропроводность слитков и полуфабрикатов сплавов системы Al-Cu-Mn-Zr-Sc.

**Практическая ценность** представлена обоснованием состава сплавов нового поколения типа АЛТЭК на базе систем Al-Cu-Mn-Zr и Al-Cu-Mn-Zr-Sc; высокими механическими свойствами сплава АЛТЭК при нагревах до 400 °С включительно и разработанными технологическими рекомендациями на плавку, литьё и термообработку сплава. Важным практическим результатом работы является обоснование эффективности использования новых материалов с сокращённым технологическим циклом производства. Это позволит получить значительный экономический эффект, что весьма важно для повышения конкурентоспособности, импортозамещения и эффективности производства.

**Степень обоснованности и достоверности** научных положений обеспечена корректностью постановки задач и подтверждается качественным и количественным согласованием результатов теоретических исследований с экспериментальными данными, а также лабораторным и опытным производственным опробованием технологии изготовления слитков и полуфабрикатов. Диссертант использовал в своей работе современное технологическое, аналитическое и измерительное оборудование.

Личный вклад автора состоит в постановке научно-исследовательских и технологических задач, проведении и обработке экспериментальных данных, анализе и обобщении результатов. Основные положения и выводы диссертационной работы



сформулированы автором и достаточно полно и логично отражают ее содержание и полученные результаты.

Основные положения данной работы докладывались и обсуждались на пяти международных конференциях, опубликованы в восьми печатных работах, три из которых входят в перечень ВАК. Автором получено свидетельство о регистрации секрета производства (НОУ-ХАО).

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Однако по автореферату и диссертационной работе имеются следующие **замечания и рекомендации:**

1. В названии работы присутствует исследование и разработка технологии производства, однако в тексте достаточно мало упоминается конкретных режимов литья.
2. В методике исследования (стр.7 автореферата) автор указывает на то, что объектами сравнения для нового сплава АЛТЭК был стандартный деформируемый сплав АК4-1(ГОСТ 4784-97). Однако далее в тексте автореферата этот сплав больше не упоминается.
3. Не приведены механические свойства сплава при литье с различной скоростью охлаждения.
4. Не приведены значения коррозионной стойкости сплава.
5. В случае производства слитка непрерывным горизонтальным литьем – не учитывается данная автором рекомендация об использовании индукционного оборудования, не ясно в каком состоянии находилась графитовая втулка до момента начала литья.
6. Целесообразно было бы отметить какие рекомендации носят общий характер, то есть относятся не только к производству сплава АЛТЭК.

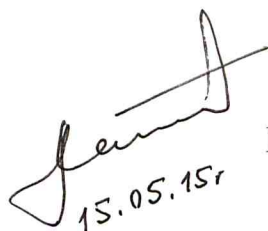
**Заключение.** Сделанные замечания носят частный характер, они не снижают ни надежности полученных результатов, ни значимости проделанной работы и не затрагивают основные положения и выводы работы. Диссертационная работа выполнена на высоком экспериментальном уровне, содержит серьезные научные и практические результаты, полученные автором. Работа написана хорошим литературным языком, хорошо иллюстрирована и аргументирована.

Считаю, что представленная диссертационная работа является законченной научно-исследовательской работой, имеет научную новизну и практическую значимость. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертационной работы.

Диссертационная работа «Исследование и разработка технологии получения слитков алюминиевых сплавов системы Al-Cu-Mn-Zr-Sc с целью изготовления из них деформированных полуфабрикатов без использования операций гомогенизации и закалки», соответствует действующему положению ВАК о порядке присуждения ученых степеней, а автор работы – **Яковлев Александр Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04 – Литейное производство.**


Заместитель генерального директора  
ООО «Интермикс Мет», член-  
корреспондент РАЕН, д.т.н.

141400, Московская область, г. Химки, ул.  
Рабочая, д. 2А  
Тел.: +7 (495) 7391680  
e-mail: 7391680@mail.ru



15.05.15r

Напалков В.И.

19.05.2015г. D212.132.02 



## **Приложение к отзыву Напалкова В.И.**

Напалков Виктор Иванович – доктор технических наук по специальности 05.16.04 Литейное производство, член-корреспондент РАЕН.

Основное место работы и должность на момент написания отзыва:

ООО «Интермикс Мет», заместитель генерального директора.

Почтовый адрес: 141400, Московская область, г. Химки, ул. Рабочая, д. 2А

Тел.: +7 (495) 7391680

e-mail: [7391680@mail.ru](mailto:7391680@mail.ru)

Список основных публикаций Напалкова В.И., близких по теме диссертации Яковлева А.А.:

1. Напалков В. И., Махов С. В. Легирование и модифицирование алюминия и магния / Напалков В. И., Махов С. В. - М. : МИСИС, 2002. - 374 с
2. Непрерывное литье алюминиевых сплавов : справочник / Напалков В. И., Черепок Г. В., Махов С. В., Черновол Ю. М. ; ред. Напалков В. И. - М. : Интермет Инжиниринг, 2005. - 511 с.
3. Основные направления развития технологии и оборудования заготовительного литья алюминиевых деформируемых сплавов / Черепок Г. В., Напалков В. И. // Цв. мет.– 2001 № 9-10.– С. 79-82.

**Список основных публикаций Напалкова В.И. за 2010-2015 гг., близких по теме диссертации Яковлева А.А.:**

1. Махов С.В., Напалков В.И. Лигатуры алюминиевые: настоящее и будущее // Литейщик России, 2012.-№8.-с. 21-25.
2. M.V. Glavatskikh, A.V. Pozdniakov, S.V. Makhov, V.I. Napalkov Investigation into the structure and phase composition of powder aluminum-phosphorus master alloys // Izvestiya VUZ. Tsvetnaya Metallurgiya, 2014, No. 4, pp. 45–50.
3. V. I. Napalkov, S. V. Makhov, and D. A. Popov Production of additions for aluminum alloys // Metal Science and Heat Treatment, 2012, Vol. 53, pp 478 - 483.

4. A.V. Pozdniakov, , M.V. Glavatskikh, S.V. Makhov , V.I. Napalkov The synthesis of novel powder master alloys for the modification of primary and eutectic silicon crystals // Materials Letters, 2014, vol. 128, pp 325–328.
5. Никитин В.И., Кривопапов Д.С., Никитин К.В., Напалков В.И., Махов С.В., Дуженко А.А. Влияние условий кристаллизации на структуру модифицирующей лигатуры Al–Sc // Литейное производство, 2014 . – № 11 . – С. 5-8 .
6. Махов С.В., Напалков В.И., Попов Д.А., Золоторевский В.С., Поздняков А.В., Главатских М.В. Способ получения лигатуры алюминий-фосфор. Патент РФ № 2539886, публикация 27.01.2015.
7. В. И. Напалков, С. В. Махов Физико-химические процессы рафинирования алюминия и его сплавов: учеб.-справочное пособие / В. И. Напалков, С. В. Махов [и др.] ; ред. В. И. Напалков. - М. : Теплотехник, 2011. - 489 с.
8. Напалков В. И., Махов С. В., Попов Д. Л., Поздняков А. В Модифицирование литого зерна и первичного кремния в алюминиевых сплавах // Литейщик России.– 2014 № 6.– С. 23-29
9. Напалков В. И., Махов С. В., Попов Д. А. Производство лигатур для алюминиевых сплавов // Металловед. и терм. обраб. мет.– 2011 № 10 – С. 18-23

Заместитель генерального директора ООО  
«Интермикс Мет», член-корреспондент  
РАЕН, д.т.н.



Напалков В.И.



УТВЕРЖДАЮ:

Врио проректора по науке и

инновациям ДВФУ



Плотников В.С.

05.2015

МП

### ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Дальневосточный федеральный университет» (ДВФУ) на диссертационную работу Яковлева Александра Алексеевича «Исследование и разработка технологии получения слитков алюминиевых сплавов системы Al-Cu-Mn-Zr-Sc с целью изготовления из них деформированных полуфабрикатов без использования операций гомогенизации и закалки», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04 «Литейное производство»

Кандидатская диссертация Яковлева А.А. посвящена научному обоснованию составов сплавов на базе системы Al-Cu-Mn-Zr-Sc, разработке научных основ технологии плавки и литья слитков из сплавов на базе системы Al-Cu-Mn-Zr-Sc, предназначенных для получения деформированных полуфабрикатов без использования гомогенизации и закалки. По уровню механических свойств предлагаемые сплавы находятся примерно на одном уровне с известными марочными жаропрочными алюминиевыми сплавами на базе системы Al-Cu-Mn (типа 1201). При этом технологический цикл получения деформированных полуфабрикатов из предлагаемых сплавов существенно короче, а рабочие температуры деформированных полуфабрикатов из этих сплавов выше 300 °С. Это делает их незаменимыми

в качестве деформированных полуфабрикатов, обладающих малой плотностью и достаточно высокой прочностью при повышенных температурах. Однако в настоящее время в России нет промышленного производства алюминиевых материалов данного класса. Поэтому научное обоснование параметров технологии получения слитков и деформированных полуфабрикатов из предлагаемых сплавов является весьма **актуальной** задачей. Кроме того, вопрос технологии производства слитков и деформированных полуфабрикатов из сплавов на базе системы Al-Cu-Mn-Zr-Sc обусловлен многими факторами, наиболее важными из которых являются: получение почти однофазной заданной литой структуры, получение заданного распределения фаз-упрочнителей в процессе деформационно-термической обработки, хорошая связь между матрицей и фазами-упрочнителями, высокое упрочнение материала.

Таким образом, проведение комплексных исследований с целью получения достоверных данных о растворении легирующих элементов и особенностей фазообразования в системе Al-Cu-Mn-Zr-Sc, а также разработка технологических режимов плавки, литья и деформационно-термической обработки слитков имеет **научное и практическое значение**.

Диссертационная работа состоит из введения, 7 глав, общих выводов, библиографического списка и приложений. Она написана грамотным, понятным языком, анализ результатов облегчают таблицы и рисунки.

Обзор литературы, написанный Яковлевым А.А., содержит значительный объем информации по теме работы, включая новейшие публикации в ведущих журналах и сборниках международных конференций, что также подтверждает оригинальность и целесообразность проведенных исследований.

В диссертационной работе содержится большой объем экспериментального материала, представляющего собой, как свойства, так и характеристики микроструктуры исследуемых сплавов, полученных при использовании современного оборудования. Полученные



в результаты представлены и проанализированы с использованием современных технологий, в частности, электронной микроскопии с использованием локального микрорентгеноспектрального анализа, что полностью отвечает современному уровню. Результаты и основные положения, приведенные в диссертации, обоснованы и достоверны, что определяется:

1. Использованием современных расчетных методов изучения фазового состава;
2. Использованием современных экспериментальных методов исследования структуры и свойств алюминиевых сплавов;
3. Испытанием механических и физических свойств как модельных образцов, так и реальных слитков, полученных методом непрерывного горизонтального литья.

Результаты, полученные Яковлевым А.А., обладают **научной новизной**. В работе проведен количественный анализ фазового состава сплавов системы Al-Cu-Mn-Zr-Sc и определены в области концентраций легирующих элементов, в которых возможно получить структуру с высокой долей вторичных выделений фаз  $Al_2Cu_2Mn_3$  и  $Al_3Zr$ . Полученные результаты позволяют прогнозировать фазообразование применительно к литейной технологии производства слитков. Диссертант провел оптимизацию составов алюминиевых сплавов системы Al-Cu-Mn-Zr-Sc и, что особенно ценно, разработал технологию плавки и литья слитков. В результате этой работы ему удалось получить деформированные полуфабрикаты в виде листов, которые в стабилизированном состоянии обладают повышенной прочностью по сравнению с марочным сплавом 1201 ( $\sigma_R > 300$  МПа,  $\sigma_{0,2} > 260$  МПа). Особо следует отметить грамотное использование метода измерения электропроводности, что позволило получить нетривиальные научные результаты и обосновать режим термообработки.

Практическая ценность диссертационной работы Яковлева А.А. заключается в том, что в ходе проведенных исследований и использования

теоретических и экспериментальных подходов предложены рекомендации по выбору режимов плавки и литья, режимов термообработки алюминиевых сплавов, которые направлены на получение структуры с равномерным распределением фаз-упрочнителей. На технологические режимы литья слитков оформлено ноу-хау (№59-004-2014 ОИС).

Предложена технологическая рекомендации на режимы плавки, литья и деформационно-термической обработки алюминиевых сплавов системы Al-Cu-Mn-Zr-Sc. Практическая ценность данной технологической рекомендации подтверждается успешным опробованием предложенной технологии получения слитков из сплава АЛТЭК методом непрерывного горизонтального литья в цехе опытного производства ИЦ «ЛТМ» НИТУ «МИСиС».

Развитые автором положения отвечают современным требованиям создания жаропрочных алюминиевых сплавов и технологии их получения. Исследования имеют четко выраженную практическую направленность и могут быть успешно использованы на производстве.

Основные результаты диссертационной работы доложены на международных научно-практических конференциях, публикации полностью раскрывают основное содержание диссертационной работы и соответствуют требованиям ВАК РФ.

Диссертационная работа и автореферат **оформлены** в соответствии с действующими требованиями.

В работе отмечены следующие замечания и рекомендации:

1. В диссертации указано, что рассматривались различные способы введения циркония (в частности в виде двойных лигатур, с различным содержанием циркония), однако экспериментальные данные по построению кинетических зависимостей приводятся только для спеченной лигатуры, которая при приготовлении сплавов не используется.

2. При рассмотрении механизма формирования литой и деформированной структуры исследуемых сплавов следовало более подробно



рассмотреть индивидуальное влияние элементов на упрочнение.

3. В диссертации широко используется расчет фазового состава с использованием программы Thermo-Calc. Однако приведенных изотермических и политермических сечений, не хватает, чтобы наглядно оценить влияние отдельных легирующих компонентов и температуры на фазовый состав.

4. Недостаточно отражено обоснование концентраций скандия.

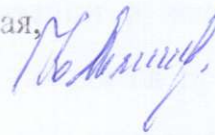
5. В диссертационной работе и тексте автореферата имеется ряд технических ошибок и опечаток.

Эти замечания носят частный характер и не затрагивают суть диссертации, которая заслуживает самой высокой оценки.

В целом диссертационная работа Яковлева Александра Алексеевича по своему теоретическому, методическому и экспериментальному уровню, актуальности, научной новизне и практической значимости, объему работы соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени **кандидата технических наук** по специальности 05.16.04 «Литейное производство».

Основные положения диссертационной работы Яковлева Александра Алексеевича рассмотрены на заседании кафедры «Материаловедение и технология материалов» Инженерной школы ДВФУ, протокол №10 от 07.05.2015 г.

Заведующий кафедрой «Материаловедение и технология материалов», Инженерной школы ДВФУ, федеральный эксперт по вопросам науки и техники, член Советов УМО ТМ и ТХОМ, эксперт ДЭ Приморского края, профессор, д.т.н., чл.- корр. РАН



Мансуров Ю.Н.

г. Владивосток, улица Суханова, 8  
e-mail: mansurov.yu@dvfu.ru; yulbarsmans@gmail.com  
тел.: +79532029660

Секретарь заседания кафедры

г. Владивосток, улица Суханова, 8  
e-mail: shamina.av@dvfu.ru; mylita@bk.ru  
тел.: +79147250121

Шамина А.В.



### **Сведения о ведущей организации**

по диссертации Яковлева Александра Алексеевича на тему: «**Исследование и разработка технологии получения слитков алюминиевых сплавов системы Al-Cu-Mn-Zr-Sc с целью изготовления из них деформированных полуфабрикатов без использования операций гомогенизации и закалки**» представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04 – «Литейное производство»

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Дальневосточный федеральный университет»**

690091, Российская Федерация, Приморский край

г. Владивосток, улица Суханова, дом 8

Телефон: 8 (800) 555-0-888

Факс: 8 (423) 243-23-15

Эл. почта: rectorat@dvfu.ru

Официальный веб-сайт: <http://www.dvfu.ru/>

Список основных публикаций работников ведущей организации по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Мансуров Ю.Н. Трех- и четырехкомпонентные диаграммы состояния на основе алюминия. Научное издание. – Ташкент, «Spectrum-scope», 2010. 103 с.
2. Мансуров Ю.Н. Алюминиевые сплавы. Фазовый состав. Научное издание. – Ташкент, «Spectrum-scope» 2010. 117 с.
3. Мансуров Ю.Н., Пименов В.А., Бойко А.А. Инновационные решения свойств алюминиевых сплавов из лома и отходов // Вестник



Инженерной школы Дальневосточного федерального университета, 2013. - № 1 (14). - С. 49-58.

4. Мансуров Ю.Н. Формирование структуры многокомпонентных алюминиевых сплавов // Химическая технология, 2012. - Т. 13. - № 2. - С. 96-100.
5. Мансуров Ю.Н., Пименов В.А., Бойко А.А. Металлургические способы облагораживания структуры алюминиевых сплавов из лома и отходов // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета, 2012. - № 4 (13). - С. 3-10.
6. Омельченко А.О., Мансуров Ю.Н. Наноструктура анодной оксидной пленки, полученной анодированием алюминиевых сплавов // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета, 2014. - № 2 (19). - С. 43-47.
7. Mansurov Yu.N., Belov N.A., Aksenov A.A., Reva V.P. INFLUENCE OF PRESSURE UPON STRUCTURE AND PROPERTIES OF ALLOYS WITH THE RAISED MAINTENANCE OF COMPONENTS // *7th International Scientific and Practical Conference «Science and Society» 23-30 March 2015* <http://scieuro.com/articles>
8. Mansurov Yu.N., Belov N.A., Reva V.P., Andreev V.V. APPLIED RESEARCHES OF PROSPECTS OF USE IN THE FAR EAST OF INDUSTRIAL ALPAXES // *7th International Scientific and Practical Conference «Science and Society» 23-30 March 2015* <http://scieuro.com/articles>

ЗАВЕРЯЮ:

сведения о ведущей организации

Ученый Секретарь ДВФУ

Уч. звание: к.т.н., доц.



Гридасов А.В.