

Корпорация «Тактическое ракетное вооружение»  
Военно-промышленная корпорация «НПО машиностроения»  
Открытое акционерное общество



«УРАЛЬСКИЙ НАУЧНО-  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»  
(ОАО «УНИИМ»)

Новозвягинская ул., д.57, г. Пермь, Россия, 614014

e-mail: [uniikm@yandex.ru](mailto:uniikm@yandex.ru), [www.uniikm.ru](http://www.uniikm.ru)

Тел. (342) 267-07-68, 263-17-22

Факс. (342) 263-16-00

ОКПО 07523132, ОГРН 1095906003490

ИНН / КПП 5906092190 / 590601001

Ученому секретарю  
диссертационного  
совета Д212.132.05  
при НИТУ «МИСиС»  
Т.А. Лобовой

119049, г. Москва,  
Ленинский проспект, д. 4  
НИТУ «МИСиС»

№ 4103/603 от 28.10.16.

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_  
О направлении отзыва на автореферат

Направляем отзыв на автореферат диссертации Сентюриной Ж.А.  
«Получение сферических порошков из сплавов на основе алюминиды никеля  
NiAl для аддитивных технологий», представленной на соискание ученой  
степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 –  
Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Приложение:

1. Отзыв на автореферат на 2 л. в 2 экз.

Генеральный директор

В.Ю. Чунаев

Е.Н. Портнова

(342) 263-15-76



Генеральный  
ОАО «УНИИ

ОАО «УНИИКСМ»

2016 г.

В целом представленная в автореферате диссертационная работа представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выводы и результаты которой имеют как научную, так и практическую значимость.

Работа соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, и содержит новые научно обоснованные технологические решения и разработки. Поэтому соискатель Ж.А. Сентюрина заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Портнова Екатерина Николаевна  
инженер-химик 1 категории отдела материаловедения  
ОАО «Уральский научно-исследовательский институт  
композиционных материалов»  
614014, г. Пермь, ул. Новозвягинская д.57  
тел. (342) 263-15-60  
e-mail: uniikm@yandex.ru

*for*

Подпись Портновой Е.Н. удостоверяю:  
Начальник отдела кадров и тех. обучения  
МП.



*Н.А. Хасанова*

Н.А. Хасанова





Федеральное космическое агентство  
Федеральное государственное унитарное предприятие



**«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОСМИЧЕСКИЙ  
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР имени М.В. ХРУНИЧЕВА»**

**«КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО ХИМИЧЕСКОГО  
МАШИНОСТРОЕНИЯ им. А.М. ИСАЕВА»  
Филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.В.Хруничева»**

Богомолова ул., д. 12, г. Королёв, Московская обл., Россия, 141070  
Тел.: (499)-678-83-84, факс (499) 678-83-34; (499) 678-83-01, E-mail: kbhimmash@korolev-net.ru  
ОКПО 17664075, ОГРН 1027739198090, ИНН/КПП 7730052050/773001001

\_\_\_\_\_ 20 г. Исх. № \_\_\_\_\_

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20 г.

**ОТЗЫВ**

на автореферат диссертации Сентюриной Жанны Александровны на тему  
«Получение сферических порошков из сплавов на основе алюминида никеля NiAl для  
аддитивных технологий», представленной на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и  
композиционные материалы

Диссертационная работа Сентюриной Ж.А. посвящена созданию интегральной технологии получения порошков правильной сферической формы и регламентированной зернистости из новых жаропрочных и жаростойких материалов на основе интерметаллида NiAl для использования в аддитивных 3D – технологиях. Для решения поставленной задачи автором предложена оригинальная трехступенчатая технология, включающая в себя получение полуфабриката сплава методом центробежной СВС-металлургии, его последующий индукционный переплав и плазменное центробежное распыление прутковой заготовки.

Актуальность работы подтверждается ее выполнением в рамках ФЦП и хоздоговора с ведущим материаловедческим предприятием Государственной корпорации по космической деятельности "Роскосмос".

Автором проделана большая, комплексная работа по исследованию фазового состава, структуры и свойств новых сплавов на основе NiAl на всех этапах предложенной технологической цепочки. Наиболее важные результаты диссертационной работы, несомненно, представляют научную новизну. В результате проведенных исследований разработаны методика и лабораторный регламент на процесс



Диссертационная работа Сентюриной Ж.А. является завершенной научно-исследовательской работой, выполнена на высоком научно-исследовательском уровне и соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемых к кандидатским диссертациям, а автор, Сентюрина Жанна Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

03 ноября 2016 г.

e-mail: kbhimmash@korolev-net.ru



## Отзыв

на автореферат диссертации Сентюриной Жанны Александровны: “Получение сферических порошков из сплавов на основе алюмината никеля NiAl для аддитивных технологий”, представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Создание средств деятельности человека требует во многих отраслях, в частности, в авиационной и ракетнокосмической, применения легковесных высокотемпературных конструкционных материалов, к которым относятся интерметаллиды и сплавы на основе NiAl. К перспективным технологиям получения таких материалов относится центробежная СВС- металлургия, где для синтеза литых материалов используются высокоэнтальпийные смеси порошков оксидов металлов с восстановителем. Поэтому работу следует признать актуальной, что подтверждено выполнением её в соответствии с тематическими планами известного в стране и за рубежом Национального исследовательского технологического университета “МИСиС”.

В работе автором Сентюрина Ж.А. изучены особенности фазо- и структурообразования новых сплавов на основе NiAl систем NiAl-Cr-Co-Hf, NiAl-Cr-Co-Hf-B и NiAl-Mo-Cr-B-Mn-Hf, полученных по технологии центробежной СВС- металлургии. Исследованы зависимости структуры и свойств интерметаллидных сплавов системы NiAl-Cr-Co-Hf от соотношения легирующих элементов Cr/Co при их неизменном суммарном содержании 18 %. Исследованы эволюции фазового состава, микроструктуры и свойств сплавов на основе данных систем после индукционного переплава СВС- полуфабриката. Выполнен анализ влияния технологических параметров плазменного центробежного распыления на гранулометрический состав и микроструктуру получаемых порошков. Произведены испытания полученных гранул, включающие исследования состава, структуры и технологических свойств гранул.

В результате исследований Сентюриной Ж.А. установлен экстремальный характер зависимости предела прочности при сжатии от соотношения Cr/Co в СВС- сплавах на основе системы NiAl-Cr-Co-Hf при их суммарном содержании 18 %, проявляющийся в том, что при увеличении соотношения Cr/Co в сплаве от 0,5 до 2 наблюдается рост предела прочности за счет выделения в интерметаллидной матрице NiAl упрочняющей дисперсной фазы на основе хрома; дальнейшее увеличение их соотношения до 3,5 приводит к уменьшению предела прочности, что обусловлено формированием толстых разупрочняющих хромовых прослоек на границе интерметаллидных зёрен. Методом просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения автором выявлены структурные превращения в сплаве  $\text{Ni}_{41}\text{Al}_{41}\text{Cr}_{12}\text{Co}_6$  в процессе нагрева и предложен механизм растворения включений на основе хрома в интерметаллидной матрице NiAl: в интервале температур 20-500°C наблюдается уширение диффузионной зоны на границе раздела фаз Cr-NiAl; при дальнейшем нагреве до 750°C происходит фрагментация хромовых выделений на нанокристаллиты размером 20-100 нм, что увеличивает скорость



растворения частиц хрома за счет интенсификации зернограницной диффузии. Сентюриной Ж.А. выявлен эффект измельчения фазы  $(\text{Mo,Cr})\text{B}$  и повышение однородности ее распределения в интерметаллидной матрице сплава системы  $\text{NiAl-Mo-Cr-B-Mn-Hf}$  при добавлении наночастиц  $\text{ZrO}_2$  в количестве от 0,5 до 1,5 % об. в процессе индукционного переплава за счет увеличения количества выделений тугоплавких дисперсных боридов  $(\text{Hf,Zr})\text{B}$ , являющихся центрами кристаллизации для фазы  $(\text{Mo,Cr})\text{B}$ . А также установлено снижение скорости ползучести сплава  $\text{Ni}_{41}\text{Al}_{41}\text{Cr}_{12}\text{Co}_6$  после индукционного переплава, что обусловлено укрупнением зерна моноалюминида никеля  $\text{NiAl}$ , увеличением сопротивления диффузионной ползучести Кобла и ростом когезионной прочности границ зерен в результате более равномерного распределения по границам зерен фазы на основе гафния.

Практическая значимость работы Сентюриной Ж.А. подтверждена разработкой способа получения электродов из сплавов на основе алюминида никеля  $\text{NiAl}$  для центробежного плазменного распыления, включающий получение полуфабриката методом центробежного СВС-литья (Заявка на изобретение № 2015130329 от 23.07.2015 г.). Кроме того, зарегистрировано ноу-хау «Состав и способ получения электродов из жаропрочного сплава на основе алюминида никеля для плазменного центробежного распыления гранул правильной сферической формы и регламентированной зернистости для использования в аддитивных 3 d-технологиях». А также разработана методика получения экспериментальных образцов жаропрочных материалов на основе алюминида никеля в виде гранул. Сентюриной Ж.А. разработан также лабораторный регламент на процесс получения экспериментальных образцов гранул правильной сферической формы и регламентированной зернистости из жаропрочных материалов с использованием интегральной технологической цепочки, включающей синтез полуфабриката в виде слитка, его переплав и центробежное распыление. В ОАО «Композит» осуществлена апробация технологии получения сферических гранул из сплавов на основе  $\text{NiAl}$  и проведены испытания полученных гранул, которые показали, что свойства гранул полностью соответствуют требованиям технологий гранульной металлургии и аддитивного производства.

К замечаниям по работе можно отнести сравнительно избыточное количество выводов, возможно, некоторые из них следовало обобщить.

Указанное замечание ни в коей мере не снижает ценности работы автора. Несмотря на указанное замечание, следует отметить, что автор Сентюриной Ж.А. логично и убедительно продемонстрировала достижение поставленной цели, подтверждая изложенные результаты испытаний использованием современного оборудования и аттестованных методик исследований, значительным количеством экспериментальных данных, применением статических методов обработки результатов, а также сопоставлением полученных результатов с результатами других авторов. Автореферат Сентюриной Жанны Александровны отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, работа представляет собой законченное научное исследование, является актуальной, содержит научную новизну, а её автор, Сентюрина



Ж.А. заслуживает присвоения ей учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Засл. деятель науки РФ д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки ИВЭП ДВО РАН, 680000, г. Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56; тел.: (4212)227573  
Верхотуров Анатолий Демьянович; e-mail verhoturov36@mail.ru

*Верхотуров*



Подпись	<i>А.Ф. Верхотурова</i>
<b>ЗАВЕРЯЮ</b>	
Начальник отдела кадров ИВЭП ДВО РАН	<i>В.Н. Сергеев</i>
Дата	" 07 " 11 2016 г.

К.т.н., научный сотрудник, , Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт материаловедения ДВО РАН, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 153; тел: (4212)226956;  
Коневцов Леонид Алексеевич; e-mail konevts@narod.ru

*Подпись  
с. инд.*



*заверено*

*Коневцов Л.А.*



*Коневцов*



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации

Сентюриной Жанны Александровны

«Получение сферических порошков из сплавов на основе алюминиды никеля  
NiAl для аддитивных технологий»

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 05.16.06 - Порошковая металлургия и композиционные  
материалы

Актуальность работы доказана списком контрактов. Предложены новые композиции интерметаллидных сплавов различной степени легированности на основе алюминиды никеля. Исследовано влияния на свойства сплавов на основе алюминиды никеля легирующих элементов при двух переделах центробежной СВС и индукционного переплава, предложены механизмы структурных превращений в сплаве  $\text{Ni}_{41}\text{Al}_{41}\text{Cr}_{12}\text{Co}_6$ . Проведено параметрическое исследование процесса плазменного центробежного распыления и установлены закономерности фракционного состава и структуру гранул.

Замечания:

1. Утверждается, что «глубина выхода целевого продукта ( $\eta_2$ ) в слиток приближалась к расчетному значению» (стр. 11). Откуда взялось расчетное значение?
2. Кривые «напряжение-деформация», представленные на рис. 4, вызывают определенный интерес. Сплавы без ТО с соотношением  $\text{Cr}/\text{Ni}=2$  и  $\text{Cr}/\text{Ni}=3,5$  по-разному себя ведут ( $\sigma_B=2260\text{МПа}$  и  $\sigma_B=1250\text{МПа}$ ) – отличаются почти в два раза, хотя их микроструктуры (рис. 2, д, е) различаются не принципиально. В реферате написано: уменьшение «предела прочности связано с формированием толстых хромовых прослоек на границе интерметаллидных зерен» (стр. 14). Как понимать толстые и тонкие прослойки?
3. При ПЦР построены функции распределения частиц по размерам (рис.10). Почему не построена плотность функции распределения?

Высказанные замечания не снижают общего положительного впечатления от работы.



Считаем, что по актуальности и новизне полученных результатов, достоверности, их научной и практической значимости диссертационная работа «Получение сферических порошков из сплавов на основе алюминидов никеля NiAl для аддитивных технологий» отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Сентюрина Жанна Александровна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 - Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Сибирский государственный индустриальный  
университет»

Заведующий кафедрой естественнонаучных дисциплин им. профессора В.М. Финкеля, Заслуженный деятель науки РФ, Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, Лауреат премии РАН им. И.П. Бардина  
доктор физико-математических наук,  
профессор

Виктор Евгеньевич Громов  
«9» ноября 2016 г.

Доцент кафедры  
естественнонаучных дисциплин  
им. профессора В.М. Финкеля  
к.т.н, доцент

Владимир Дмитриевич Сарычев  
«9» ноября 2016 г.

654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, д. 42  
Тел. (3843) 78-43-67, 46-22-77, факс (3843) 46-57-92  
e-mail: gromov@physics.sibsiu.ru, sarychev\_vd@mail.ru

На обработку персональных данных согласны.

Подписи В.Е. Громова и В.Д. Сарычева удостоверяю

Начальник ОК СибГИУ



Татьяна Анатольевна Дрепина  
«9» ноября 2016 г.





**САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
SAMARA UNIVERSITY

федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева»

ул. Московское шоссе, д. 34, г. Самара, 443086  
Тел.: +7 (846) 335-18-26, факс: +7 (846) 335-18-36  
Сайт: [www.ssau.ru](http://www.ssau.ru), e-mail: [ssau@ssau.ru](mailto:ssau@ssau.ru)  
ОКПО 02068410, ОГРН 1026301168310,  
ИНН 6316000632, КПП 631601001

Учёному секретарю диссертаци-  
онного совета Д212.132.05

Т.А.Лобовой

119049 Москва Ленинский про-  
спект, 4, НИТУ МИСиС

17.11.2016 № 43-6240

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Отзыв на автореферат

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Сентюриной Жанны Александровны

«Получение сферических порошков из сплавов на основе алюминиды никеля NiAl для аддитивных технологий», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук

Представленная работа является актуальной, т.к. направлена на разработку отечественной технологии получения интерметаллидных порошковых материалов, большинство из которых в настоящее время являются импортными, а их номенклатура представлена ограниченными марками и составами.

Научная новизна, на наш взгляд, состоит в установлении оптимальных составов и соотношения легирующих элементов в порошках, при которых были получены наиболее высокие показатели прочности СВС-спеченных сплавов.

Практическая значимость работы заключается в разработке способа получения электродов из интерметаллидных сплавов, которые могут быть использованы для центробежного плазменного напыления.

Несомненной ценностью диссертации является «ноу-хау» «Состав и способ получения электродов из жаропрочного сплава на основе алюминиды никеля для плазменного центробежного распыления гранул правильной сферической формы и регламентированной зернистости для использования в аддитивных 3D-технологиях».

К замечаниям по автореферату следует отнести следующие моменты:

1. На стр.11 автореферата к комментариям к рис.1 сказано, что «наиболее интенсивный рост скорости горения ... наблюдается в интервале перегрузки от 1 до 150g». Но на рис.1а наиболее интенсивный рост этого показателя по экспери-



ментальным точкам наблюдается в интервале от 0 до 50g, затем в интервале 50...150g рост скорости горения менее интенсивный, чем при меньших значениях перегрузки. В связи с этим не понятно, почему значение перегрузки 150g выбрано как значимое.

2. В этом же абзаце оптимальное значение перегрузки выбирается 150g, но не указано, что является критерием оптимизации, т.к. ни одна из рассматриваемых характеристик (скорость горения, величина разброса, глубина выхода целевого продукта) не принимает экстремальные (минимальные или максимальные) значения при выбранном значении аргумента.

3. На стр.14 автореферата приводится сравнение показателей упрочнения сплавов до ТО и после ТО, при этом режимы ТО не приводятся, а поэтому рассуждения на предмет причин увеличения пластичности после ТО не имеют обоснования.

Указанные замечания не снижают достоверности результатов работы и носят рекомендательный характер. Исследование имеет солидную апробацию и публикацию результатов, соответствует необходимым требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям. В связи с этим её автор Сентюрина Ж.А. заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

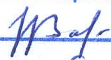
Заведующий кафедрой обработки металлов давлением, академик РАН, доктор наук (05.03.05 - Процессы и машины обработки давлением), профессор

 Федор Васильевич Гречников, тел. +7(846)3340904

e-mail: [gretch@ssau.ru](mailto:gretch@ssau.ru),

Доцент кафедры технологии металлов и авиационного материаловедения, к.т.н.(05.02.01 –Материаловедение(машиностроение))

 Екатерина Александровна Носова e-mail: [eanosova@mail.ru](mailto:eanosova@mail.ru), тел. +7(902)3215866

Подпись <u>Гречников Ф.В., Носовой Е.А.</u> достоверно
Начальник отдела сопровождения деятельности ученых советов Самарского университета
 Васильева И.И.
« 17 » ноября 2016 г.





## О Т З Ы В

на автореферат диссертации Сентюриной Жанны Александровны  
«Получение сферических порошков из сплавов на основе  
алюминиды никеля NiAl для аддитивных технологий»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук

Диссертации Сентюриной Ж.А. посвящена решению актуальной задачи - получению в промышленных масштабах сферических порошков на основе алюминиды никеля, удовлетворяющих требованиям аддитивных технологий селективного лазерного и электронно-лучевого сплавления. На сегодняшний день данные материалы ни в России, ни за рубежом не производятся, несмотря на острую необходимость в них в авиа- и ракетостроении. Для решения этой задачи соискателем использованы современные методы получения, рафинирования и модифицирования интерметаллидных материалов и производства порошков из них, такие как центробежная СВС-металлургия, индукционный переплав в среде инертного газа и плазменное центробежное распыление.

Научная ценность работы, на наш взгляд, состоит в детальном описании фазового состава и структуры, а также свойств сплавов на основе NiAl в случае использования различных вариантов их легирования на каждом из этапов производства микрогранул из них. Впервые выявлено влияние соотношения содержаний Cr и Co в СВС-сплавах системы NiAl-Cr-Co-Hf на их структуру и предел прочности, а также обнаружен эффект измельчения включений (Mo, Cr)В в сплавах системы NiAl-Mo-Cr-B-Mn-Hf при их модифицировании в процессе индукционного переплава наночастицами  $ZrO_2$ .

Использование соискателем современных методов исследования и оборудования, а также достаточный объем экспериментального материала обеспечивают достоверность полученных результатов и сделанных на их основании выводов, которые не противоречат существующим представлениям.

Практическая значимость работы заключается в оптимизации составов легированных сплавов на основе алюминиды никеля и разработке конкретных рекомендаций по практическому осуществлению многоэтапного технологического процесса получения из них высококачественных сферических гранул, удовлетворяющих требованиям современных 3D-технологий, внедрение которых является одной из стратегических задач развития технологического потенциала нашей страны.

В качестве замечаний следует отметить следующее:

- 1) в автореферате отсутствуют сведения о целях введения в состав разрабатываемых материалов тех или иных из используемых легирующих элементов;





## О Т З Ы В

на автореферат диссертации

**СЕНТЮРИНОЙ Жанны Александровны**

**ПОЛУЧЕНИЕ СФЕРИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ИЗ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ  
АЛЮМИНИДА НИКЕЛЯ NiAl ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,**

представленной на соискание ученой степени

кандидата технических наук

по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

Диссертационная работа Сентюриной Ж.А. является актуальной и имеет прикладное значение. В работе представлены результаты, связанные с разработкой интегральной технологии получения порошков из новых жаропрочных и жаростойких материалов для использования в аддитивных технологиях.

В качестве материала выбраны сплавы на основе алюминиды никеля (NiAl), который обладает привлекательным балансом химических и физических свойств наряду с высокой температурой плавления. Поэтому сплавы на основе NiAl рассматривают как перспективные материалы для создания легковесных высокотемпературных конструкций в авиа- и ракетно-космической промышленности. В настоящее время созданные материалы на основе NiAl имеют ограниченную пластичность при нормальных температурах и недостаточную высокотемпературную прочность. Одним из методов улучшения механических характеристик сплавов на основе хрупкой интерметаллидной матрицы NiAl является легирование пластичными тугоплавкими металлами, что и было рассмотрено в данной работе.

Системный подход к решению поставленных перед автором задач позволил разработать технологию изготовления гранул, которые по своим характеристикам в полной мере удовлетворяют требованиям гранульной металлургии и аддитивного производства. Предлагаемая технология включает в себя использование современных перспективных методов на каждом этапе техпроцесса.

Автором выполнен большой объем работ по синтезированию сплавов и проведению измерений их механических свойств. Одним из интересных результатов, описанных в четвертой главе, является тот факт, что введение в состав сплава NiAl-Mo-Cr-B-Mn-Hf наночастиц  $ZrO_2$  в количестве 1,5% об. на стадии вакуумного индукционного переплава приводит к существенному измельчению фазы (Mo,Cr)B (размер зерен менее

200 мкм) и повышает равномерность её распределения в объёме, что способствует увеличению прочностных свойств сплава.

Разработана методика получения экспериментальных образцов жаропрочных материалов на основе алюминида никеля в виде гранул. В ОАО «Композит» осуществлена апробация технологии получения сферических гранул из сплавов на основе NiAl и проведены испытания полученных гранул, которые показали, что свойства гранул полностью соответствуют требованиям технологий гранульной металлургии и аддитивного производства.

Автореферат в целом написан связно и понятно. Работа хорошо апробирована, основные результаты доложены на Всероссийских и международных конференциях, и опубликованы в 13 статьях и 8 тезисах докладов.

По своей актуальности, научной и практической значимости и объёму выполненных исследований диссертационная работа, несомненно, удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Сентюрина Жанна Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Главный научный сотрудник  
Научно-исследовательского института физики и прикладной математики  
Института Естественных Наук и Математики  
Уральского федерального университета,  
директор Уральского центра коллективного пользования  
«Современные нанотехнологии» УрФУ,  
доктор физ.-мат. наук, профессор

Шур Владимир Яковлевич  
620000, г. Екатеринбург, пр. Ленина 51  
Телефон: (343) 261-74-36  
E-mail: vladimir.shur@urfu.ru



В.Я. Шур

Старший научный сотрудник Института Естественных Наук и Математики  
Уральского федерального университета,  
кандидат физ.-мат. наук

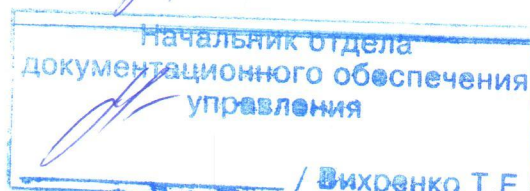
Мингалиев Евгений Альбертович  
620000, г. Екатеринбург, пр. Ленина 51  
Телефон: (343) 261-74-36  
E-mail: ea.mingaliev@urfu.ru

Е.А. Мингалиев

30.11.2016

Подпись *В.Я. Шур*

Заверяю





## Отзыв

на автореферат кандидатской диссертации **Сентюриной Жанны Александровны** «Получение сферических порошков из сплавов на основе алюминидов никеля  $NiAl$  для аддитивных технологий», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – порошковая металлургия и композиционные материалы.

Процессам синтеза сплавов на основе алюминидов никеля посвящено большое количество работ, закономерности их реализации во многих случаях достаточно хорошо изучены. Такой интерес обусловлен особым значением, который представляют в практическом отношении интерметаллические соединения алюминия с никелем. Они обладают аномальными температурными зависимостями прочности и пластичности, высокими величинами износостойкости и жаропрочности, а также другими уникальными технологическими характеристиками. Сплавы на основе  $NiAl$  среди других композиционных материалов выделяются небольшим удельным весом, высокими характеристиками тепло-электропереноса и способностью длительно работать в окислительной среде вплоть до 1300 К. Поэтому, алюминиды никеля наиболее перспективны для разработки современных высокотемпературных композиционных материалов конструкционного и инструментального назначений, в связи с чем актуальность исследований процессов получения новых сплавов и композиционных материалов на основе алюминидов никеля не вызывает сомнений

Одним из эффективных методов получения высококачественных изделий на основе интерметаллических соединений являются интегральные технологии, изначально предъявляющие высокие требования к структурным и физико-химическим характеристикам исходных порошковых смесей.

В представленном к защите диссертационном исследовании, с целью разработки интегральной технологии получения порошков из жаростойких и жаропрочных материалов, проведено составляющее научную новизну изучение особенностей фазо- и структурообразования интерметаллидных сплавов на основе алюминидов никеля в системах  $NiAl-Cr-Co-Hf$ ,  $NiAl-Mo-Cr-Mr-Hf$ ,  $Ni_{41}Al_{41}Cr_{12}Co_6$  в зависимости от способа их получения, от соотношения легирующих элементов в них, а также проведены промышленные испытания полученных порошковых образцов.

Практическая ценность проведенного научного исследования заключается в следующем:

- разработан способ получения электродов из сплавов на основе алюминидов никеля для центробежного плазменного распыления;
- предложена методика получения гранул из образцов на никель-алюминиевой основе;

- разработан технологический документ на процесс получения гранул с заданными характеристиками из синтезированных жаропрочных образцов-прекурсоров.

Считаю, что работа Сентюриной Жанны Александровны «Получение сферических порошков из сплавов на основе алюминидов никеля NiAl для аддитивных технологий» соответствует уровню кандидатских диссертаций, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – порошковая металлургия и композиционные материалы.

Ведущий научный сотрудник

Отдела структурной макрокинетики ТНЦ СО РАН,

д. ф.-м. н

 /Лапшин О.В./

**Лапшин Олег Валентинович**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Томский научный центр  
Сибирского отделения Российской академии наук, 634021, г. Томск, пр. Академический, 10/3.

Тел.: (3822)492-782, e-mail: [maks@fisman.tomsk.ru](mailto:maks@fisman.tomsk.ru)

специальность 01.04.17

Подпись Лапшина О.В. удостоверяю:

Врио Председателя ТНЦ СО РАН, д.ф.-м.н.





/Колосов В.В./