

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. Директора ИМЕТ РАН, к.т.н.

  
Банных И.О.  
«22» июля 2021 г.



### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН) на диссертационную работу Аккужина Нургиза Даяновича «Повышение прочностных свойств композиционного материала на основе системы Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>, получаемого из порошка алюминия ПАП-2», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 - Порошковая металлургия и композиционные материалы

#### Актуальность темы

Разработка и применение композиционных материалов является одним из магистральных направлений развития современного материаловедения и машиностроения. Широкое применение нашли алюмоматричные композиты, в частности материалы типа САП - спеченного алюминиевого порошка (SAP - Sintered Aluminum Powder). Благодаря наличию в алюминиевой матрице значительного количества (4-23%) равномерно распределенных частиц Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в отличие от алюминиевых сплавов материалы на основе САП сохраняют высокую прочность до 500°С.

Диссертационная работа Аккужина Н.Д. посвящена дальнейшему развитию алюмоматричных композитов - созданию композита на основе системы Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> с повышенным уровнем служебных свойств. Исходным материалом для его получения в отличие от материалов САП служит доступный и относительно дешевый высокодисперсный алюминиевый порошок ПАП-2, а эффективное нанодисперсное упрочнение композита реализуется по принципу «in-situ» за счет формирования упрочняющих наночастиц непосредственно в объеме матрицы. В отличие от технологии САП, требующей дорогостоящего специального оборудования, разрабатываемая технология предполагает

использование традиционного метода прессования в стальных пресс-формах и спекания для массового изготовления деталей. Однако для порошка ПАП-2 существует проблема плохой формуемости, связанная с наличием защитной пленки стеарина на частицах. С другой стороны, наличие стеарина способствует синтезу «in-situ» наноразмерных включений карбида алюминия  $Al_4C_3$ , дополнительно упрочняющих матрицу. В связи с этим, диссертационная работа Аккужина Н.Д., в которой впервые для алюмоматричных композитов системы  $Al-Al_2O_3-Al_4C_3$  установлены рациональные условия процессов подготовки порошка ПАП-2, а также процессов его формования и спекания, которые позволили устранить противоречие между положительным и отрицательным влиянием стеарина и обеспечить повышение прочностных свойств композиционного материала.

Актуальность работы подтверждается её выполнением в рамках базовой части государственного задания вузам № 11.7568.2017/БЧ.

### **Структура и основное содержание диссертационной работы**

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, общих выводов и, списка использованной литературы, содержащего 107 источников. Диссертация изложена на 122 страницах, содержит 18 таблиц и 47 рисунков.

В методическом плане работа четко структурирована и содержит все необходимые для диссертации элементы. Представлен большой экспериментальный материал, касающийся структуры и свойств композиционных материалов, полученных из порошков, содержащих стеарин и порошков, свободных от стеарина. Благодаря такому разделению в процессе исследования была детально изучена двойственная роль стеарина в формировании свойств дисперсно-упрочненного КМ из порошка ПАП-2. В частности, были изучены свойства КМ, полученных из порошка ПАП-2, из которого предварительно был удален стеарин, установлены факторы, влияющие на прочность спеченного КМ, полученного из исходного порошка ПАП-2 со стеарином, оценена возможность частичного отжига исходного порошка ПАП-2 и прессовок из него для повышения формуемости и свойств спеченного КМ. Отдельный раздел посвящен особенностям структуры материала, убедительно свидетельствующие, что дисперсионное упрочнение алюминиевой матрицы обеспечивается за счет наноразмерных частиц разной природы: алюмокарбидных кристаллов и сфероидизированных фрагментов пленки  $Al_2O_3$ .

На основании полученных выводов были сформулированы рекомендации по корректированию существующей экспериментальной технологии, позволившему не только компенсировать отрицательный фактор плохой формуемости, но и повысить прочностные свойства КМ за счет более эффективного карбидообразования.

### **Научная новизна**

1. Впервые выполнено систематическое изучение зависимости прессуемости порошка ПАП-2 от температуры и времени выдержки при вакуумном отжиге. Показано, что изучаемая система подчиняется теории прессования М.Ю. Бальшина, а увеличение параметра  $R_{max}$  в уравнении М.Ю. Бальшина связано с увеличением количества оксидной фазы за счет остаточного воздуха в вакуумной печи.

2. Установлена роль защитной пленки стеарина в формировании микроструктуры, обеспечивающей повышение прочностных свойств алюмооксидного композита, заключающаяся в том, что ее разложение в вакууме приводит к образованию углеродного остатка, который взаимодействует «in-situ» с алюминием с образованием упрочняющей фазы - наноразмерного карбида алюминия  $Al_4C_3$ .

### **Практическая значимость**

1. Показана возможность применения технологической компоненты исходного сырья (стеарина) не только по прямому назначению, но также в качестве добавки, активно влияющей на структурно-фазовые превращения, положительно влияющие на функциональные свойства материала. Этот факт может стать отправным при разработке новых материалов и не только на основе алюминия.

2. На основе учета двойственной роли стеарина заложены основы совершенствования существующей экспериментальной технологии спекания алюминиевого порошка ПАП-2, что уже обеспечило повышение прочностных характеристик композиционного материала  $Al-Al_2O_3-Al_4C_3$  и позволило достичь предела прочности, равного 350 МПа, прочности при изгибе ~ 700 МПа, что превышает ранее достигнутые значения соответственно на ~50 и ~35%.

### **Степень обоснованности и достоверности научных положений**

Научные положения и выводы диссертации теоретически обоснованы и экспериментально проверены. Достоверность и обоснованность результатов работы подтверждаются применением разнообразных современных методик и оборудования, а также принадлежностью диссертанта к давно и хорошо зарекомендовавшей себя школе материаловедов МАИ.

### **Публикации по результатам диссертационной работы.**

По теме диссертации опубликовано 10 печатных работ, в том числе 2 статьи в журналах, рекомендуемых ВАК РФ (одна из них проиндексирована в Scopus), и 8 тезисов докладов в сборниках трудов конференций. Результаты диссертационной работы прошли апробацию на 8 научно-технических конференциях, в том числе международного уровня.

### **Основные замечания по диссертации:**

1. Следовало бы более четко обосновать выбор в качестве основных экспериментальных температур 300, 350, 400, 600 и 650 °С и продолжительности выдержек, а не ссылаться на уже имеющийся опыт. Необходимость такого обоснования очевидна при анализе графиков зависимостей основных свойств от времени выдержки при 600 и 650 °С, начинающихся с 1 часа выдержки, когда свойства образцов уже отличаются более чем в два раза. Это оставляет вне рассмотрения наиболее интересный временной интервал.

2. Из текста диссертации не ясно с каким массивом исходных порошков работал диссертант. Если это только одна партия порошка ПАП-2, то этого мало для утверждения о разработке рекомендаций для данного класса материалов, поскольку свойства и количество главного «участника» рекомендаций - стеарина не могут быть тождественны во всех партиях. Хорошо бы дать хотя бы краткое описание возможных различий.

3. Из текста диссертации не ясно какое число измерений на экспериментальную точку использовано при построении графиков. Ни на одном из них нет доверительных интервалов.

4. Рекомендации по совершенствованию технологии «за счет наибольшей эффективности карбидообразования, основанные на учете скорости газовыделения при разложении стеарина, массы загрузки и производительности вакуумной системы» выглядят несколько декларативно и нуждаются в конкретизации по каждому параметру.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы. Диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне. Текст диссертации написан грамотно, общепринятым научным языком.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в области автомобилестроения, аэрокосмической и оборонной промышленности, приборостроения и других отраслях промышленности, в первую очередь там, где требуется материал, сочетающий в себе низкую плотность и высокую прочность, в том числе, при температуре до 500 °С.

### **Заключение:**

Диссертационная работа Аккужина Н.Д. представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, посвящённую актуальной научной проблеме, имеющей теоретическое и практическое значение, и выполнена на высоком научно-техническом уровне. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Тематика диссертации Аккужина Н.Д., ее содержание и основные полученные результаты соответствуют требованиям паспорта научной специальности 2.6.5 - Порошковая металлургия и композиционные материалы.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Аккужин Нургиз Даянович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 - Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Работа рассмотрена и обсуждена на расширенном коллоквиуме Лаборатории прочности и пластичности металлических и композиционных материалов и наноматериалов ИМЕТ РАН с участием сотрудников Лаборатории физико-химических основ металлургии цветных и редких металлов («12» ноября 2021 г., протокол № 6). Отзыв составлен на основании диссертации, автореферата и публикаций Аккужина Н.Д.

Председатель коллоквиума  
Заведующий лабораторией прочности и  
пластичности металлических и композиционных  
материалов и наноматериалов,  
главный научный сотрудник,  
чл.-корр. РАН, д.т.н.



Колмаков А.Г.

Ученый секретарь коллоквиума  
пом. заведующего лабораторией прочности и  
пластичности металлических и композиционных  
материалов и наноматериалов,  
ведущий научный сотрудник, к.т.н.



Кобелева Л.И.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН),  
адрес: 119334, г. Москва, Ленинский пр-кт, 49, ИМЕТ РАН  
Тел.: 8 (499) 135-45-31, e-mail: akolmakov@imet.ac.ru