

## О Т З Ы В

официального оппонента Юхвида Владимира Исааковича,  
доктора технических наук, профессора, профессора на диссертационную  
работу Кузиной Антонины Александровны «Применение керамических  
нанопорошков азидной технологии СВС для армирования алюмоматричных  
композиционных материалов», представленную на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение

На отзыв представлены:

- текст диссертационной работы на 218 страницах, включая введение, шесть глав, заключение, 3 приложения и библиографический список из 178 источников;
- автореферат диссертации на 18 страницах, включая список из 15 основных публикаций по теме диссертационной работы, из которых 3 статьи в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ, 5 публикаций, входящая в базу данных SCOPUS. По результатам интеллектуальной деятельности получены 2 свидетельства о государственной регистрации.

### **Актуальность диссертационной работы.**

Создание новой и развитие современной техники требует улучшения механических свойств алюмоматричных композиционных материалов (АМКМ) для их применения при повышенных температурах и нагрузках. Армирование наноразмерным частицам 1-100 нм является наиболее перспективным для значительного увеличения твердости АМКМ, позволяет сохранить пластичность алюминиевой матрицы и получить прочные АМКМ.

Проблема разработки пригодных для промышленного применения технологий получения литых АМКМ, упрочненных керамическими наночастицами, остается на сегодня нерешенной. Очень дороги керамические нанопорошки оксидов, нитридов, карбидов и другие, доступные на рынке. Существующие методы ввода нанопорошков в расплав

алюминия сложны и малопроизводительны и не всегда обеспечивают равномерное распределение наночастиц по объему матрицы, особенно при повышенном содержании наночастиц, что не позволяет реализовать большие потенциальные возможности упрочнения АМКМ наночастицами. Самые простые методы ввода нанопорошков в расплав алюминия и его сплавов основаны на использовании разнообразных нанопорошковых псевдолигатур – смесей керамических нанопорошков с металлическими порошками-носителями, чаще всего прессованных. Дороговизна доступных керамических нанопорошков во многом связана со сложностью и энергозатратностью существующих технологий их получения, в первую очередь, плазмохимического синтеза. Поэтому несомненный интерес представляют значительно более дешевые нанопорошки нитридов и карбидов, получаемые по азидной технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС-Аз) при горении смесей порошков с азидом натрия  $\text{NaN}_3$ . Метод СВС-Аз характеризуется простотой осуществления в малогабаритном оборудовании, энергосбережением за счет собственного тепловыделения горения, дешевизной и доступностью многих исходных порошковых реагентов.

### **Научная новизна диссертационной работы.**

Впервые для армирования алюминия применены керамические нанопорошки нитридов и карбидов  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$  и  $\text{AlN}$  марки СВС-Аз. Характерной особенностью нанопорошков  $\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$  и  $\text{AlN}$  марки СВС-Аз является наличие примеси побочной соли криолита  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ . Установлено, что при жидкофазном способе получения АМКМ эта соль играет роль флюса, удаляется из расплава и не входит в конечный состав литого АМКМ. При твердофазном способе получения алюмокомпозита  $\text{Al-AlN}$  примесь соли ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) не удаляется, загрязняет состав спеченного АМКМ и приводит к его повышенной пористости.

Установлены закономерности процессов смешивания и прессования порошков при получении нанопорошковых псевдолигатур на основе

различных 3-х металлических порошков-носителей: меди, никеля или алюминия, содержащих армирующие наночастицы керамических порошков  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$  и  $\text{AlN}$  марки СВС-Аз, для применения при жидкофазном изготовлении АМКМ.

Исследован процесс ввода псевдолигатур с нанопорошками марки СВС-Аз в расплав алюминия А7 и алюминиевого сплава АК12. Установлено, что эти псевдолигатуры растворяются в расплаве при содержании в составе псевдолигатуры не более 5% нанопорошков марки СВС-Аз, что позволяет усвоить расплавом и ввести в конечный состав АМКМ не более 0,1% армирующих частиц нанопорошков марки СВС-Аз.

Установлено, что использование обработки электромагнитными акустическими полями (частотой 500 кГц или 1000 кГц, в течение 30 или 45 минут) расплава алюминия А7 и алюминиевого сплава АК12 практически не влияет на растворимость псевдолигатур, содержащих нанопорошки  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$  и  $\text{AlN}$  марки СВС-Аз.

Впервые установлено влияние наночастиц керамических порошков  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$  и  $\text{AlN}$  марки СВС-Аз на механические свойства АМКМ, полученных жидкофазным методом. Определено, что лучшие результаты в повышении прочностных характеристик отмечаются при армировании алюминиевой матрицы наночастицами порошка  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , который не содержит побочной соли криолита.

Показано, что применение твердофазного метода порошковой металлургии с прессованием и спеканием смесей порошка алюминия марки ПА-4 и нанопорошка армирующей фазы ( $\text{AlN}+5\%\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) марки СВС-Аз для изготовления композита  $\text{Al-AlN}$  с большим содержанием (5-75)% армирующей фазы нанопорошка не приводит к успеху, так как при спекании побочная соль криолита  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  не удаляется, спеченные образцы АМКМ получают сильно окисленными и высокопористыми.

**Практическая значимость.**

Определены технологические режимы получения псевдолигатур, содержащих наночастицы керамических порошков  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$  и  $\text{AlN}$  марки СВС-Аз, на различных металлических порошках – носителях: меди, никеля или алюминия, для жидкофазного армирования алюминиевых сплавов.

Определены технологические режимы ввода псевдолигатур, содержащих наночастицы порошков марки СВС-Аз, в расплавы алюминия А7 и алюминиевого сплава АК12.

Выявлено, что максимальное повышение твердости АМКМ на основе А7 наблюдается при вводе частиц  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $(\text{SiC}+\text{Si}_3\text{N}_4)$  и  $\text{AlN}$  в составе псевдолигатур на порошке – носителе медь.

Исследованы технологические режимы изготовления композита  $\text{Al-AlN}$  твердофазным способом порошковой металлургии при использовании порошка алюминия марки ПА-4 и нанопорошка марки СВС-Аз состава  $(\text{AlN}+5\%\text{Na}_3\text{AlF}_6)$ .

Результаты исследования внедрены в учебный процесс федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» и используются для подготовки бакалавров по направлениям 28.03.02 «Наноинженерия», 22.03.02 «Металлургия», 15.03.01 «Машиностроение» и магистров направления 22.04.02 «Металлургия». Полученные результаты могут быть использованы в различных отраслях машиностроения для создания новых, обладающих повышенными показателями прочности, износостойкости и других свойств, алюмоматричных композиционных материалов, армированных керамическими нанопорошками марки СВС-Аз.

### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Результаты исследования процессов смешивания и прессования порошков при получении нанопорошковых псевдолигатур, содержащих наночастицы керамических порошков  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$  и  $\text{AlN}$  марки СВС-Аз, на основе

различных металлических порошков-носителей (меди, никеля или алюминия), для жидкофазного изготовления АМКМ.

2. Результаты исследования возможности ввода и усвоения псевдолигатур, содержащих наночастицы порошков  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$  и  $\text{AlN}$  марки СВС-Аз, в алюминиевый расплав, и влияния различных факторов на эту возможность: состава, размеров и пористости псевдолигатур, температуры расплава и времени выдержки в расплаве.

3. Результаты исследования состава, структуры и свойств полученных жидкофазным методом литых АМКМ, армированных наночастицами порошков  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$  и  $\text{AlN}$  марки СВС-Аз.

4. Результаты исследования возможности изготовления композита  $\text{Al-AlN}$  твердофазным способом порошковой металлургии при использовании порошка алюминия марки ПА-4 и нанопорошка марки СВС-Аз состава ( $\text{AlN}+5\%\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ).

5. Вывод о том, что нанопорошки азидной технологии СВС с примесью побочной соли криолита  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  пригодны для применения при жидкофазном изготовлении дискретно армированных алюмоматричных композиционных материалов, так как здесь примесь криолита играет роль флюса, удаляется из расплава и не входит в конечный состав литого АМКМ, но не пригодны для применения при твердофазном изготовлении АМКМ, так как здесь примесь соли  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  не удаляется, загрязняет состав спеченного АМКМ и приводит к его повышенной пористости.

#### **Достоверность полученных результатов.**

В ходе выполнения диссертационной работы был выполнен большой объем экспериментальных исследований, обеспечивающий достоверность результатов. Экспериментальные результаты имеют удовлетворительную сходимость с теоретическими данными, не противоречат исследованиям других авторов. В ходе исследования применялись аттестованные методики исследований и современное аналитическое оборудование.

**По диссертационной работе А.А. Кузиной имеются следующие замечания.**

1. Недостаточно подробно проанализирован процесс растворения псевдолигатур, содержащих наночастицы керамических порошков  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$  и  $\text{AlN}$  марки СВС-Аз на носителях из меди, никеля и др. в алюминии, а также последующее формирование состава структуры слитков АМКМ.
2. При анализе формирования микроструктуры и фазового состава литых АМКМ не рассмотрена возможность растворения наноразмерных частиц  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{AlN}$  и носителей в расплаве алюминия и их участие в формировании новых соединений с  $\text{Al}$  при охлаждении и кристаллизации.
3. В литых АМКМ не обнаружен азот, изначально входящий в состав частиц АМКМ. В работе не рассмотрены возможные причины его потери.

#### **Общее заключение по работе**

Сделанные замечания, которые в основном носят характер пожеланий для последующих исследований диссертанта, не могут существенным образом повлиять на общую, несомненно, положительную оценку рецензируемой работы. Работа является законченным научным исследованием и выполнена автором на высоком методическом уровне.

В диссертационной работе решена важная научно-техническая задача. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для развития материаловедения алюминиевых сплавов и разработки новых промышленных технологий получения литых АМКМ, упрочненных керамическими наночастицами. Содержание глав диссертации хорошо увязано друг с другом и излагаются грамотно и профессионально.

Работа свидетельствует о широкой научной эрудиции соискателя и его высоких навыках исследователя. Автореферат достаточно полно и правильно отражает содержание диссертации. По объему выполненных задач,

актуальности исследования и практической значимости полученных результатов работа А.А. Кузиной полностью удовлетворяет всем требованиям, в том числе п. 9, предъявляемых к кандидатским диссертациям, изложенным в «Положении о присуждении ученых степеней», утвержденном постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., и соответствует паспорту специальности 2.6.17. Материаловедение (05.16.09 Материаловедение (машиностроение)) по пунктам 1 и 4, а ее автор – Кузина Антонина Александровна - заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Даю согласие на обработку моих персональных данных.

Официальный оппонент,

заведующий лабораторией жидкофазных СВС-процессов и литых материалов, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской академии наук» (ИСМАН), профессор, доктор технических наук

(01.04.17. Химическая физика, в том числе физика горения и взрыва)

Юхвид Владимир Исаакович

*Ю*  
01.09.2021

Телефон 8 (49652) 46396. E-mail: yukh@ism.ac.ru.

142432, Московская обл., г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, д. 8.

Подпись В.И. Юхвида удостоверяю

Ученый секретарь ИСМАН



*Е.В. Петров*  
Е.В. Петров