

## О Т З Ы В

**официального оппонента на диссертационную работу Шериной Юлии Владимировны «Влияние армирования высокодисперсной фазой карбида титана, синтезированной в расплаве, и термообработки на структуру и свойства промышленных алюминиевых сплавов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение**

Представленная на отзыв диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, библиографического списка из 127 наименований, приложения; текст работы изложен на 207 страницах машинописного текста, содержит 115 рисунков, 62 таблицы. Основные результаты работы широко представлены в научных публикациях (13 печатных работ по теме диссертации, в том числе 11 статей в профильных изданиях из Перечня ВАК РФ), прошли апробацию на Всероссийских и международных научно-технических конференциях, опробованы в условиях действующего промышленного производства.

### 1. Актуальность избранной темы

Литые алюмоматричные композиционные материалы, армированные дисперсными частицами высокомолекулярных тугоплавких соединений, отличаются от традиционных сплавов повышенными показателями удельной прочности, жесткости, износостойкости в широких температурно-силовых интервалах эксплуатации, что обуславливает перспективность их применения для изготовления различных высоконагруженных деталей триботехнического назначения. Одним из основных ограничивающих факторов для широкого промышленного использования алюмоматричных композиционных материалов являются трудности технологического характера, обусловленные плохой смачиваемостью экзогенных армирующих компонентов матричными расплавами, что приводит к необходимости использования специальных технологических приемов и существенно повышает себестоимость выпускаемой продукции. Проводимые в СамГТУ на протяжении последних десятилетий фундаментальные и прикладные исследования в области получения литых алюмоматричных композитов с применением процессов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) в расплаве вносят существенный вклад в решение обозначенных проблем, открывая новые перспективы для управления структурой и свойствами материалов за счет формирования целевых эндогенных армиру-

*С отзывом ознакомлена 13.09.2021 Шер*

ФГБОУ ВО «СамГТУ»
« 13 » 09. 2021
Рван № Шер

ющих фаз, в частности, карбида титана. Несмотря на то, что на модельных системах в обозначенном направлении исследований к настоящему времени достигнуты определенные успехи, закономерности протекания структурных и фазовых превращений при получении и термической обработке композиционных материалов на основе промышленных алюминиевых сплавов, армированных карбидом титана, остаются недостаточно изученными, что определяет актуальность темы диссертационной работы Шериной Ю.В.

## **2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Обоснованность сформулированных в диссертации научных положений обеспечивается теоретической проработкой рассматриваемой проблемы на основе современных достижений в области получения и термической обработки алюмоматричных композиционных материалов системы Al-TiC, применением для решения поставленных задач адекватных и взаимодополняющих методов исследований, сопоставительным анализом полученных теоретических и экспериментальных данных с привлечением специализированного программного обеспечения, опробованием разработанных научно-технических решений в производственных условиях. Выводы по диссертации согласуются с целью и задачами исследований, в полной мере подтверждены результатами экспериментальных исследований, приведенными в главах и разделах диссертации.

**Во введении** раскрыты актуальность работы и степень разработанности темы исследования, определены цель и задачи диссертационного исследования, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования, сформулированы объект и предмет исследования, защищаемые положения, степень достоверности и апробация результатов, отражен личный вклад автора диссертации.

**В первой главе** диссертации обоснована необходимость разработки технологических решений по получению и термической обработке алюмоматричных композитов на основе промышленных алюминиевых сплавов в условиях СВС-процесса в расплаве. Рассмотрены твердофазные и жидкофазные методы получения алюмоматричных композиционных материалов. Раскрыты особенности и преимущества применения метода СВС в расплаве для получения алюмоматричных композитов с термодинамически стабильными армирующими фазами. Проведен анализ опробованных к настоящему времени методов и режимов термической обработки алюмоматричных композитов различ-

ных систем во взаимосвязи с достигнутыми показателями механических свойств. Обозначены перспективы применения алюмоматричных композиционных материалов, армированных карбидом титана, для изготовления изделий триботехнического назначения. На основе проведенного анализа выбраны перспективные марки промышленных алюминиевых сплавов для использования в качестве матричных материалов при получении алюмоматричных композитов с карбидом титана методом СВС в расплаве, сделаны выводы о необходимости изучения закономерностей структурообразования получаемых композитов в условиях получения и последующей термической обработки, и определены связанные с этим цель и задачи исследований.

**Во второй главе** диссертации для решения поставленных в работе задач автором выбраны современные методы исследования структуры, элементного и фазового состава, физических, химических, механических, технологических и эксплуатационных свойств материалов. Приведена характеристика исходных компонентов для получения алюмоматричных композитов. Приведены и детально описаны методика подготовки СВС-шихты и проведения экспериментальных плавок, методы отбора проб и анализа образцов, методика проведения термической обработки. Изложена методика термодинамического анализа процессов СВС с использованием программы THERMO. Дано описание методик определения свойств полученных материалов. В целом, привлекаемый комплекс методов отвечает современному уровню развития материаловедения и технологий композиционных материалов.

**В третьей главе** изложены результаты отработки технологии получения и исследований структуры и свойств композиционного материала  $AlMg_2-10\%TiC$  в литом состоянии и после термической обработки (нагрев до  $150\text{ }^\circ\text{C}$  с выдержкой в течение 3 часов и охлаждением на воздухе). Термодинамическими расчетами подтверждено, что при рекомендуемой для синтеза алюмоматричных композитов температуре расплава  $1173\text{ K}$  ( $900\text{ }^\circ\text{C}$ ) адиабатическая температура в системе  $AlMg_2-10\%TiC$  составляет  $1430\text{ K}$  ( $1160\text{ }^\circ\text{C}$ ), что является достаточным для образования целевой фазы карбида титана, при этом в рассматриваемых условиях не образуются нежелательные фазы карбида алюминия и алюминиды титана. Присутствие армирующих частиц  $TiC$  размерами от  $180\text{ нм}$  в количестве  $\sim 9\text{ масс.}\%$  в литых образцах подтверждено результатами исследования микроструктуры и фазового состава. Показано, что термообработка композитов по рекомендованным режимам сопровождается повышением твердости с  $59,4$  до  $67,6\text{ НВ}$  за счет выделения фазы  $Al_3Mg_2$ . Формирование  $10\% TiC$  значительно снижает скорость изнашивания с  $37,6\text{ мкм/час}$

(АМг2) до 6,4 мкм/час и 4,0 мкм/час для композита в литом и термообработанном состояниях, соответственно. При этом коэффициент трения уменьшается с 0,3 у чистого АМг2 до 0,07 у термически обработанного композита, что свидетельствует о существенном улучшении трибологических характеристик. Проведена оценка свариваемости полученных композитов.

**В четвертой главе** приведены результаты исследований по синтезу, термической обработке и изучению свойств и характеристик композита АМг6-10%ТiС. Показано, что наилучшие показатели свойств достигаются после термической обработки с нагревом до 230 °С, выдержкой в течение 3 часов и охлаждением на воздухе. В целом полученные данные по формированию структуры и свойств композитов коррелируют с результатами, приведенными в третьей главе для состава АМг2-10%ТiС. Установлено, что армирование матричного сплава АМг6 высокодисперсными частицами ТiС в комплексе с термической обработкой приводит к значительному снижению скорости износа (до 4 раз) и коэффициента трения (до 2 раз).

**В пятой главе** представлены результаты исследований по изучению влияния термической обработки на структуру и свойства алюмоматричных композитов АМ4,5Кд-10%ТiС. Основываясь на полученных данных, для изучаемого состава предложено осуществлять нагрев под закалку при 545°С с выдержкой в течение 1 часа и последующим охлаждением в холодную воду в комплексе с искусственным старением при 170°С с выдержкой в течение 4 часов, при этом твердость возрастает до 142 НВ. По результатам оценки технологических свойств подтверждено сохранение жидкотекучести (390 мм) композиционного материала АМ4,5Кд-10%ТiС на уровне матричного сплава (400 мм) с одновременным уменьшением линейной усадки с 1,31 до 0,99 %. Трибологические испытания изучаемого материала показали значительное снижение скорости износа, коэффициента трения и задиростойкости после термической обработки.

**В шестой главе** диссертации приведены сведения о получении, термической обработке, структуре и свойствах композита АК10М2Н-10%ТiС. Для данного состава автором рекомендован нагрев под закалку при 515 °С с выдержкой в течение 1 часа и последующим охлаждением в холодную воду в комплексе с искусственным старением при 190 °С с выдержкой в течение 2 часов. После термообработки отмечено повышение твердости до 172 НВ, снижение скорости изнашивания до 17 раз, коэффициента трения до 4 раз. Литейные свойства композита сохраняются на уровне значений, характерных для неармированного матричного сплава.

Логическая завершенность диссертационной работы определяется доведением полученных результатов до практической реализации путем опытно-промышленной апробации разработанных научно-технических решений в условиях ООО «САМАРА-БАЛАНС», ООО «НПЦ «Самара» и в Центре литейных технологий СамГТУ. По результатам испытаний разработанные композиты АМг2-10%TiC, АМг6-10%TiC, АМ4,5Кд-10%TiC и АК10М2Н-10%TiC рекомендованы для износостойких деталей узлов трения в автомобилестроении и нефтепромышленной технике.

### **3. Новизна и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Наиболее значимыми научными результатами, обладающими новизной, являются следующие положения:

- с использованием компьютерного термодинамического моделирования определены адиабатические температуры, количество и фазовый состав продуктов СВС-реакций при синтезе карбида титана в расплавах промышленных алюминиевых сплавов АМг2, АМг6, АМ4,5Кд, АК10М2Н;
- установлены закономерности процессов структурообразования при получении литых алюмоматричных композиционных материалов с высокодисперсным карбидом титана (от 130 нм до 2 мкм с концентрацией 9-10 масс.%) на основе промышленных алюминиевых сплавов в условиях СВС-процесса в расплаве;
- выявлено влияние режимов термической обработки алюмоматричных композиционных материалов с карбидом титана, синтезированным методом СВС в расплаве, на структуру, физико-механические и эксплуатационные свойства полученных образцов и предложено научное объяснение наблюдаемых изменений свойств и характеристик материалов.

В комплексе, полученные результаты позволили установить закономерности формирования структуры и свойств алюмоматричных композиционных материалов на основе промышленных алюминиевых сплавов АМг2, АМг6, АМ4,5Кд, АК10М2Н с высокодисперсным карбидом титана при синтезе в условиях СВС-процесса в расплаве и последующей термической обработке.

Достоверность сформулированных научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается применением современных методов исследований структуры, элементного и фазового состава, физико-механических и эксплуатационных свойств разработанных материалов, в том числе: оптическая (SIAMS AT-24TRF) и растровая электронная микроскопия (JEOL JSM-6390A)

с количественной обработкой снимков в специализированных программах (Micro-S Polar, ImageJ), рентгеновская дифрактометрия (ARL X'trA), измерения технологических, физических, химических, механических и трибологических свойств по стандартным методикам и др. Результаты исследований, полученные с применением различных методик, согласуются между собой и не противоречат известным научным представлениям. Достоверность результатов диссертационной работы также подтверждается значительным количеством публикаций в профильных рецензируемых научных изданиях, апробацией на конференциях различного уровня и опытными испытаниями в условиях действующего производства.

#### **4. Практическая значимость и рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования**

Практическая значимость работы определяется, в первую очередь, тем, что на основании проведенных исследований Шериной Ю.В. разработаны технологические рекомендации по синтезу литых алюмоматричных композиционных материалов на основе промышленных алюминиевых сплавов АМг2, АМг6, АМ4,5Кд, АК10М2Н, армированных высокодисперсной фазой карбида титана (от 130 нм до 2 мкм) в количестве 9-10 масс.%, в условиях СВС-процесса в расплаве. Кроме того, в работе определены рациональные режимы термической обработки полученных алюмоматричных композиционных материалов, обеспечивающие достижение повышенных механических и эксплуатационных свойств. Проведены опытно-промышленные испытания термообработанных алюмоматричных композиционных материалов в условиях действующего производства при реализации различных параметров трения скольжения по схеме «кольцо (контртело) – плоскость (образец)» в паре со сталью 40Х, свидетельствующие о перспективности их практического применения для изготовления износостойких деталей узлов трения в автомобилестроении и нефтепромысловой технике. Результаты диссертационного исследования Шериной Ю.В. могут составить основу для дальнейшего изучения закономерностей изменения структуры и свойств алюмоматричных композитов, получаемых методом СВС в расплаве, на основе матричных алюминиевых сплавов различных составов и систем легирования.

#### **5. Замечания по диссертационной работе**

Диссертация в целом выполнена на высоком научно-методическом уровне. Вместе с тем, по работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. По-видимому, в табл. 3.2 и на рис. 3.7 приведены не размеры зерна, а размеры дендритной ячейки? То же самое касается аналогичных данных по размерам зерна для других исследованных составов композитов.
2. Не вполне ясен механизм снижения пористости в образцах композиционных материалов после термической обработки по результатам гидростатического взвешивания (стр. 66 диссертации). При этом в микроструктуре данных образцов наблюдаются отдельные микропоры (рис. 3.9, а). Вероятно, необходимы уточнения.
3. Из таблицы 3.5 следует, что твердость АМг2 в неармированном состоянии и после добавления 10% TiC остается на одном и том же уровне (59,4 НВ). С чем это связано?
4. В таблицах, содержащих сведения о свойствах и характеристиках изучаемых композитов, не приведены доверительные интервалы.
5. В тексте диссертации и автореферата не приведены сведения о результатах опытно-промышленной апробации разработанных материалов и технологических процессов их получения и обработки, несмотря на то что в приложении А представлены акты о проведении испытаний и использовании результатов работы. При этом не дана оценка ожидаемого технико-экономического эффекта от внедрения выполненных разработок.

Указанные вопросы и замечания, часть из которых можно рассматривать как рекомендации по дальнейшим исследованиям, не снижают общую положительную оценку диссертационной работы, не влияют на основные научные и практические результаты и не затрагивают основных положений, вынесенных соискателем на защиту. Работа является актуальной, полученные результаты обладают научной новизной и практической значимостью, обоснованы на современном научном уровне и описывают заверченный цикл исследований.

#### **6. Заключение о соответствии диссертации требованиям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней**

Основные положения диссертации Шериной Ю.В. обоснованы, достоверны, имеют научную новизну и практическую значимость. Содержание диссертации в достаточной степени освещено в профильных рецензируемых научных изданиях, включенных в Перечень ВАК РФ. Автореферат и опубликованные работы в полной мере отражают содержание и ключевые положения дис-

сертации. Работа оформлена в соответствии с требованиями, установленными Министерством науки и высшего образования РФ. Тема диссертационной работы, изложенный материал и полученные результаты соответствуют паспорту научной специальности 2.6.17. Материаловедение.

В целом, представленная к защите диссертация является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, по актуальности решаемых задач, научной новизне и значимости основных положений и выводов, практической ценности достигнутых результатов соответствует п. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (в действующей редакции), а ее автор Шерина Юлия Владимировна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Официальный оппонент:

доктор технических наук (специальность 2.6.3 – Литейное производство), доцент, доцент кафедры «Технологии функциональных и конструкционных материалов» ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Прусов  
Евгений Сергеевич

« 28 » 08 2024 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87

Тел.: +7 (962) 094-49-74

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

Подпись Прусова Евгения Сергеевича удостоверяю

Секретарь Ученого Совета ВлГУ



Т.Г. Коннова