

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Шатульского Александра Анатольевича

на диссертационную работу Прусова Евгения Сергеевича
на тему «Развитие научных основ создания литых комплексно-легированных
алюмоматричных композиционных материалов для отливок ответственного
назначения» на соискание ученой степени доктора технических наук по
специальности 2.6.3. «Литейное производство»

Актуальность диссертационной работы. Литые композиционные материалы на алюмоматричной основе в настоящее время получили достаточно широкое распространение в машиностроении благодаря их уникальным механическим и эксплуатационным свойствам. Однако применяемые в настоящее время методы синтеза подобных материалов основаны, как правило, на экспериментальном подборе армирующих компонентов. Это сопряжено со значительными затратами на исходные материалы, необходимостью использовать дорогостоящее оборудование, проводить большое количество экспериментов, что приводит к увеличению сроков их разработки и далеко не всегда заканчивается положительно. Создание методологических принципов проектирования литых комплексно-армированных композиционных материалов, а также разработка технологических процессов их плавки и литья позволят преодолеть обозначенные ограничивающие факторы и создадут условия для их более широкого промышленного использования в литейно-металлургической отрасли. Поэтому данная работа, направленная на разработку всего комплекса проблем по созданию подобных сплавов и рекомендаций по разработке технологий литья, несомненно, актуальна.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, семи глав и заключения; изложена на 365 страницах машинописного текста, включая приложения, и содержит 96 рисунков, 23 таблицы и список литературы из 440 наименований.

Во введении автором обоснована актуальность темы исследования, проанализирована степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту.

В первой главе автором выполнен подробный аналитический обзор литературных источников по вопросам выбора составов литых композиционных материалов на основе алюминиевых сплавов и разработки способов их получения. Рассмотрены возможности и характеристики известных к настоящему времени литейно-металлургических способов

получения композиционных материалов, армированных экзогенными и эндогенными фазами. Систематизированы основные теоретические подходы к описанию механизмов формирования структуры и свойств композиционных материалов. Показано, что до настоящего времени в литературных источниках практически нет сведений о создании гибридных композитов, содержащих одновременно армирующие фазы реакционного и кристаллизационного происхождения. Это позволило автору сформулировать цель работы и основные задачи исследований.

Во второй главе автором сформулированы основные положения создаваемой методологии проектирования литых металломатричных композитов. Автор совершенно правильно предлагает для решения задачи использовать постадийный подход, а выбор материала матрицы, легирующих элементов и упрочняющих (армирующих) компонентов осуществлять с помощью специальных критериев. Не вызывает также сомнений и вывод автора о том, что вопрос о выборе систем легирования при заданном наборе экзогенных армирующих компонентов может быть сведен к оценке изменения работы адгезии в системе «матричный металл – керамическая фаза» при добавлении легирующего элемента, а для выбора армирующих компонентов для литых металломатричных композитов использовать четыре основных и два дополнительных критерия, объединяющих в себе определенный набор характерных свойств химических соединений: из основных – термодинамическая стабильность, термомеханическая совместимость, удельная жесткость, экономическая целесообразность; из дополнительных – технологическая совместимость и степень кристаллографического соответствия с матрицей.

Таким образом, автором был реализован системный подход к проектированию литых металломатричных композитов, обеспечивающий эффективный и обоснованный выбор компонентов с учетом максимального охвата потенциально возможных комбинаций, что может способствовать созданию принципиально новых систем композитов (в том числе комплексно-армированных, гибридных и др.) с заданными свойствами для различных условий эксплуатации. Кроме того, такой подход является перспективным и с позиций последующей разработки промышленно значимых металлургических технологий, пригодных для массового производства подобных материалов.

В третьей главе автором с использованием методов геометрической и вычислительной термодинамики были выявлены закономерности взаимодействия компонентов для комплексно-армированных композиционных материалов системы $Al-Al_3Ti-(SiC, B_4C)$ с эндогенными фазами реакционного происхождения, в частности были установлены

условия протекания различных карбидных реакций, доказано, что при образовании боридов и карбидов титана на поверхности экзогенных частиц B_4C возможно формирование барьерных слоев, препятствующих появлению карбидов и борокарбидов алюминия. Было изучено влияние легирующих элементов на межфазное взаимодействие в литых композиционных материалах, содержащих частицы SiC и B_4C , а также проведен экспериментальный поиск рациональных вариантов ввода порошковых смесей $(Ti + SiC)$ или $(Ti + B_4C)$ в матричные алюминиевые расплавы, что позволило отработать методики ввода смесей порошковых прекурсоров в насыпном и компактированном состояниях, определить рациональные температурно-временные параметры плавки и литья комплексно-армированных композиционных материалов. Таким образом, автором были проведены многочисленные экспериментальные и теоретические исследования, направленные на поиск в будущем оптимальных технологических вариантов получения подобных материалов.

В четвертой главе автор приводит результаты исследований комплексно-армированных композиционных материалов системы $Al-Mg_2Si-(SiC, B_4C)$ с эндогенными фазами кристаллизационного происхождения, а также композиционных материалов системы $Al-Mg_2Si-Al_3Ti$, одновременно содержащих эндогенные армирующие фазы кристаллизационного и реакционного происхождения. Представлены данные по модифицирующей обработке расплавов с эндогенными армирующими фазами реакционного и кристаллизационного происхождения путем химических и физических воздействий, в частности для управления морфологией и размерами эндогенных частиц Mg_2Si опробованы температурно-временная и термоскоростная обработка композиционных расплавов системы $Al-Mg-Si$, установлены оптимальные режимы такой обработки.

Интересные данные получены по оценке изменения литейных свойств, по результатам которой было подтверждено положительное влияние физических модифицирующих воздействий на жидкотекучесть, усадку и горячеломкость металлматричных композитов. Разработаны технологические режимы обработки расплавов алюмоматричных композитов на основе литейных алюминиевых сплавов наносекундными электромагнитными импульсами (НЭМИ), установлены конкретные режимы обработки.

В пятой главе автор на основе анализа экспериментальных и производственных данных проводит анализ причин возникновения дефектов в отливках из металлматричных композитов. С этой целью им была предложена оригинальная классификация возможных дефектов, выявлены основные механизмы их возникновения. Для автоматизированного

проведения количественной оценки степени равномерности распределения армирующих частиц в структуре композиционных материалов на основе анализа металлографических изображений автором был разработан алгоритм и специальное программное обеспечение. Доказано, что наряду с газовой и усадочной пористостью, характерной и для неармированных металлов и сплавов в условиях «стандартных» литейно-металлургических процессов, в композиционных отливках зафиксирована возможность присутствия пористости третьего типа, вызываемой захватом воздуха в скоплениях частиц при их замешивании в расплав.

В шестой главе автор приводит результаты комплексных исследований поведения литых композиционных материалов с экзогенными и эндогенными армирующими фазами в процессах рециклинга методом переплава. Автором установлены экспериментальные режимы переплава, изучены закономерности влияния многократных переплавов на структурно-морфологические характеристики литых металломатричных композитов с экзогенным и комплексным армированием (долевое содержание, дисперсность, распределение армирующей фазы, состояние межфазных границ и др.), показано, что преобладающим фактором изменения физико-механических и эксплуатационных свойств литых металломатричных композитов при рециклинге методом переплава является продолжительность выдержки расплава, а не количество циклов.

В седьмой главе приведены сведения об использовании результатов работы в промышленности. Показано, что разработанные технологии освоены и внедрены в условиях ООО НТЦ «Композит» (г. Владимир) и ООО «Литейный завод ЛИТМАШ» (г. Шуя) при выпуске отливок ответственного назначения для нужд Ивановского силикатного завода (г. Иваново), ООО ВФ «Текс-Интер» (г. Ковров), ООО «УМСП-2» (г. Владимир) и других предприятий, доказано, что разработанные технологии хорошо встраиваются в существующие технологические процессы на литейных предприятиях и не требуют существенных дополнительных капитальных вложений, связанных с приготовлением и разливкой сплавов и использованием различных методов литья в разовые и постоянные формы.

Научная новизна полученных результатов не вызывает сомнения и заключается в разработке комплексной методологии проектирования литых алюмоматричных композиционных материалов, которая включает в себя выбор оптимального по химическому составу армирующего комплекса, обосновании и разработку методов воздействия на формирование структуры и свойств сплавов, включая модифицирование и электромагнитные методы, выявление механизмов и причин формирования дефектов литой структуры моноармированных и комплексно-армированных композиционных

материалов на основе алюминиевых сплавов. Несомненно, интерес представляют и полученные автором результаты по установлению закономерностей влияния многократных переплавов на структурно-морфологические характеристики литых моноармированных и комплексно-армированных алюмоматричных композиционных материалов и влияния компонентного состава композитов на поведение армирующих частиц при рециклинге методом переплава.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается развернутым анализом практики и обобщением передового опыта в России и за рубежом, сравнением авторских данных с результатами других исследователей по рассматриваемой тематике, воспроизводимостью полученных результатов в различных условиях, представительностью выборочных совокупностей с обоснованием подбора объектов наблюдения и измерения, а также соответствием используемых методов и методик исследований действующим стандартам и регламентам.

Достоверность полученных результатов. Достоверность полученных результатов обеспечена использованием базовых теоретических положений теории литейных процессов, современных сертифицированных методик и оборудования при проведении экспериментальных исследований, включающих методы математического и физического моделирования, корректным использованием методов статистической обработки экспериментальных данных и подтверждается положительным результатом при экспериментальной проверке и практическом опробовании разработок в условиях производства.

Личный вклад автора не вызывает сомнения и состоит в выполнении патентно-аналитических исследований, в научной постановке цели и задач исследования, анализе литературных данных и результатов исследований, проведении основной доли экспериментов, статистической обработке экспериментальных результатов, опробовании разработанных предложений в производственных условиях.

Автореферат диссертации полностью отражает содержание работы. Оформление диссертационной работы отвечает установленным требованиям. Диссертация написана грамотным, доступным техническим языком, что подтверждает высокую эрудицию и квалификацию автора.

Практическая ценность работы. Основным преимуществом данной работы является тот факт, что разработанные автором теоретические положения доведены до практического использования, в частности им разработаны:

- оригинальный технологический процесс изготовления комплексно-армированных композиционных материалов на основе алюминиевых сплавов различных систем ($\text{Al-Al}_3\text{Ti-SiC}$, $\text{Al-Al}_3\text{Ti-B}_4\text{C}$, $\text{Al-Mg}_2\text{Si-Al}_3\text{Ti}$, $\text{Al-Mg}_2\text{Si-SiC}$, $\text{Al-Mg}_2\text{Si-B}_4\text{C}$) с повышенными механическими и эксплуатационными свойствами, обеспечивающие получение отливок заданного качества в условиях гравитационных методов литья, что подтверждается патентов Российской Федерации,

- методика контроля качества литых композиционных материалов в основе которой лежит оценка равномерности распределения армирующих частиц,

- технологии жидкофазной переработки отходов производства литых моноармированных и комплексно-армированных алюмоматричных композиционных материалов различных систем (Al-SiC , $\text{Al-B}_4\text{C}$, $\text{Al-Al}_3\text{Ti}$, $\text{Al-Mg}_2\text{Si}$, $\text{Al-Al}_3\text{Ti-SiC}$, $\text{Al-Al}_3\text{Ti-B}_4\text{C}$, $\text{Al-Mg}_2\text{Si-Al}_3\text{Ti}$, $\text{Al-Mg}_2\text{Si-SiC}$, $\text{Al-Mg}_2\text{Si-B}_4\text{C}$), обеспечивающие требуемые параметры литой структуры при использовании стандартного технологического оборудования литейных цехов.

Вместе с тем по работе можно сделать следующие замечания:

1. На представленной схеме выбора оптимального состава КМ нет обратной связи, не совсем понятно каким образом будет обеспечиваться оптимизация состава и свойств, вполне целесообразно было бы для этой цели использовать и метод экспертного оценивания;
2. Наложение ограничений на используемые матричные материалы (температура плавления не выше 1000°C и поверхностного натяжения не выше $1000 \text{ мН}\cdot\text{м}^{-1}$ вполне понятно с точки зрения технологичности разрабатываемого процесса изготовления металломатричного материала, но, к сожалению, вступает в противоречие с требованиями заказчиков и сужает сферу их применения;
3. Автор утверждает, что при анализе физико-химических закономерностей взаимодействия компонентов при получении комплексно-армированных композиционных материалов системы $\text{Al-Al}_3\text{Ti-(SiC, B}_4\text{C)}$, были использованы методы геометрической и вычислительной термодинамики, тогда как производилась оценка адекватности полученных теоретических результатов;
4. Автором была разработана оригинальная классификация дефектов отливок, но она охватывает только оценку внутренних дефектов отливок, и не совсем понятно, почему не были конкретизированы для данных условий литья и поверхностные дефекты, тем более, что усвояемость вводимых порошковых материалов, по данным автора не превышает 90-93%;

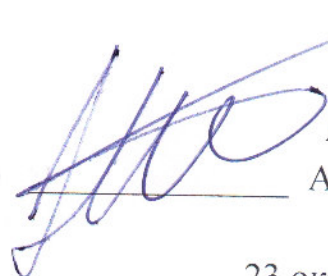
5. Автором была проведена подробная экспериментальная оценка влияния переплавов полученных сплавов на свойства отливок, но было бы интересно рассмотреть не просто переплавы, а влияние условий получения отливки на сохраняемость свойств, то есть оценить влияние скорости охлаждения отливки (например при различных условиях песчаная форма, металлическая форма), образцы различной толщины, или клиновые пробы), кроме того было интересно установление предельно допустимого количества возврата на свойства получаемых заготовок.
6. Автором приведены многочисленные экспериментальные результаты по влиянию способа замешивания экзогенных частиц в сплав с использованием технологии замешивания и брикетирования, экспериментально определены оптимальные режимы, однако при описании физической сущности протекающих процессов не была проведена оценка кавитационных эффектов, которые могут оказывать влияние на свойства сплавов при выбранных скоростях вращения;
7. Принципы принятия проектных решений при многокритериальном (многофакторном) описании процесса в теории оптимизации разработаны достаточно давно, применительно к данной работе следует говорить об использовании этих принципов для решения сложной металловедческой (литейной) задачи;
8. В целом диссертация написана грамотным техническим языком, что, несомненно, говорит о высоком уровне подготовки соискателя, однако в тексте имеются отдельные неточности, графики оформлены с отклонениями от требований ГОСТ, на них отсутствуют доверительные интервалы.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

Несмотря на отмеченные замечания, диссертация Е.С. Прусова является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны. Представленная работа имеет существенное значение для теории и технологии литейного производства, и направлена на решение важнейшей научной и практической задачи создания нового класса литых комплексно-армированных алюмоматричных композиционных материалов с управляемой структурой и прогнозируемыми свойствами для отливок ответственного назначения на основе разработки физико-химических основ и технологических принципов их получения в условиях литейно-металлургических технологий экзогенного и эндогенного армирования.

Диссертация отвечает требованиям п.9, п.10, п.11, п.12, п.13, п.14 «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года, №842), а ее автор Прусов Евгений Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.3. «Литейное производство».

Официальный оппонент,
заведующий кафедрой
Материаловедения, литья и сварки,
профессор, докт. техн. наук
по специальности 05.16.04.
«Литейное производство», профессор


Шатульский
Александр
Анатольевич

23 октября 2023 года

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Рыбинский государственный
авиационный технический университет
имени П.А. Соловьева».

152934, РФ, Ярославская область,

г. Рыбинск, ул. Пушкина, д. 53.

тел. 8(4855) 280470

факс. 8(4855) 213964

E-mail: shatulsky@rsatu.ru

Подпись Шатульского А.А. удостоверяю:

Ученый секретарь Ученого совета

канд. техн. наук, доцент


Волков

Сергей Александрович

