

УТВЕРЖДАЮ:

Первый проректор-проректор по научной работе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет»

д-р техн. наук, профессор

М.В. Ненашев

03 2023 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Партыко Евгения Геннадьевича на тему «Исследование и совершенствование процесса дегазации при заготовительном литье алюминия и его сплавов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.3 - «Литейное производство» (технические науки)

Актуальность темы диссертации

Представленная диссертационная работа Партыко Е.Г. направлена на разработку научно-обоснованных технических и технологических решений, направленных на снижение содержания водорода в слитках из алюминия и алюминиевых сплавов.

Одним из крупнейших мировых производителей алюминия, является Российская компания ОК РУСАЛ, целью которой является увеличение продаж продукции с добавленной стоимостью (ПДС) и в среднесрочной перспективе планирует увеличение данной продукции до 60 % и выше от общего объема выпуска. Предъявляемые повышенные требования к качеству слитков, их технологическим и эксплуатационным свойствам в значительной мере зависят от содержания в структуре неметаллических включений (оксида алюминия) и водорода. Существующие технологии литейного производства не обеспечивают стабильного получения содержания водорода в расплаве алюминия менее $0,1 \text{ см}^3/100 \text{ г}$, что отрицательно сказывается на конкурентоспособности продукции. Поэтому разработка научно-обоснованных технических и технологических решений, направленных на

снижение содержания водорода в слитках из алюминия и алюминиевых сплавов, является актуальной научно-технической проблемой.

Актуальность работы подтверждается тем, что она выполнялась в соответствии Федеральной программой «Стратегия развития цветной металлургии России на 2014-2020 годы и на перспективу до 2030 года», разработанной по поручению Правительства Российской Федерации от 16 июля 2013 г. № ДМ-П9-53пр в рамках проекта 14.578.21.0193 «Разработка теоретических и технологических решений снижения водорода в составе алюминия и низколегированных алюминиевых сплавов» Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Уникальный идентификатор соглашения RFMEFI57816X0193, а также по договору с ОК «РУСАЛ».

Структура и содержания работы

Содержание и структура диссертации находятся в логическом единстве и соответствуют поставленной цели исследования, критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием исследовательского плана исследования. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы, содержащего 164 источника, и трех приложений. Основной материал изложен на 158 страницах машинописного текста, включая 16 таблиц и 88 рисунков.

Во введении показана и обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы цели и задачи, представлены научная и практическая значимости диссертационной работы.

В первой главе проведен анализ современного состояния исследований в области заготовительного литья алюминия и его сплавов, связанных с пористостью и расслоениями, которые являются дефектами внутреннего строения слитка, образующиеся от водорода. Показано, что для получения качественной продукции из алюминиевых сплавов необходимо ограничить содержание водорода в расплаве не более $0,1 \text{ см}^3/100 \text{ г}$.

Во второй главе представлены разработанные и усовершенствованные методики проведения исследований. Следует подчеркнуть, что использовались не только стандартные методики исследования, но и методики, разработанные диссертантом.

Эксперименты проводились, как в лабораторных, так и в промышленных условиях. Опытные плавки проводилась в литейном

отделении на литейных машинах действующего производства предприятий ОК РУСАЛ. Приготовление и литье алюминиевых сплавов производилось с обязательным применением установки рафинирования HD 2000 и дегазатора марки SNIF; фильтрация производилась через трубчатый металлофильтр марки Mitsui с картриджами Rc. Модифицирование проводилось прутковой лигатурой Al-Ti-B. Макроструктуру образцов изучали с применением стереоскопического микроскопа Stemi 2000-C, Carl Zeiss. Количественную оценку микроструктуры проводили методом линейного анализа в программе для обработки цифровых изображений структур AxioVizion, Carl Zeiss. При определении размеров водородной и усадочной пористости использовали автоматизированную систему анализа изображений «SIAMS Photolab». Исследования механических свойств проводились на установке WDW 10 и включали в себя стандартные испытания на растяжение при испытаниях на разрыв.

Для повышения точности пробоотбора на газосодержание диссертантом разработана принципиально новая методика отбора пробы жидкого металла для анализа содержания в нем водорода. Методика упрощает отбор жидкого металла без искажения его состава за счет использования изложницы непосредственно в качестве пробоотборника. Это обеспечивает получение представительных проб металла, сокращает время пробоотбора, дает возможность отбирать пробы металла из металлургических емкостей с различной глубиной и расстоянием рис 1-2. (Патент РФ 2651031).

Во третьей главе представлены результаты исследований условий и динамики насыщения алюминиевого расплава водородом в технологической цепи от алюминиевого электролизера до литейной машины или литейного конвейера в условиях действующего производства на ОК РУСАЛ.

В следствии проведенных экспериментов было установлено, что открытый перелив алюминия-сырца из электролизера в ВТК и из ВТК в миксеры приводит к насыщению металла водородом в среднем на 0,049 и 0,083 см³/100г соответственно, вследствие эжекции пузырьков влажного воздуха в объем залитого металла. Диссертантом показано, что дополнительное обогащение алюминиевого расплава водородом в АТС от алюминиевого электролизера до литейной машины происходит: при вводе легирующих и модифицирующих добавок, повышающих растворимость водорода при производстве алюминиевых сплавов; при применении флюсовых препаратов, из-за наличия в них гигроскопической и

кристаллизационной влаги; при несовершенных методах отбора проб из металлотректа, ввода модификаторов в расплав, от контакта с литейным инструментом и оснасткой, когда происходит нарушение целостности наружной оксидной пленки над расплавом. Данная оценка позволила диссертанту в дальнейшем разработать технические решения, направленные на снижение водородной экспансии в расплав.

При исследовании влияния содержания и формы водородных включений на структуру и свойства алюминия с помощью статистической обработки параметров структуры и свойств образцов, получены следующие результаты: увеличение концентрации водорода с 0,08 до 0,22 см³/100 г Al в образцах с атомарной формой водородных включений практически не оказывает влияние на механические свойства алюминия. Присутствие водорода в молекулярной форме в концентрации от 0,08 до 0,22 см³/100 г Al резко снижает относительное удлинение с 12 % до 6% и временное сопротивление разрыву с 200 МПа до 175 МПа.

Исследования влияния формы водородных включений на коррозионные процессы показали, что в процессе эксперимента развитие межкристаллитной коррозии в большей степени проявляется в образцах с молекулярной формой водорода.

В четвертой главе представлены новые технические и технологические решения в области производства слитков из алюминиевых сплавов с пониженным содержанием водорода. Диссертантом обосновано, что для понижения содержания водорода в расплаве алюминия и его сплавах на металлургических предприятиях ОК РУСАЛ наиболее целесообразным является использование закрытых переливов алюминия-сырца из электролизера в вакуум-транспортный ковш со съемным сифоном и при заливке расплава из данного ковша в миксер. При переливании алюминия из электролизера по традиционной технологии содержание водорода в нем увеличивается с $0,127 \pm 0,010$ до $0,176 \pm 0,017$ см³/100 г, в среднем на 0,049 см³/100 г. Переливание алюминия опытным ковшем с сифоном увеличивает концентрацию водорода в металле с $0,136 \pm 0,006$ до $0,165 \pm 0,022$ см³/100 г, в среднем на 0,029 см³/100 г. В рамках совершенствования существующей аппаратно-технологической схемы диссертантом предложено техническое решение, направленное на снижение концентрации водорода в алюминии при его отстаивании. По результатам экспертизы заявленного технического решения получен патент на изобретение № 2668640 «Способ вакуумной обработки алюминия и алюминиевых сплавов».

На основании изменений в аппаратурно-технологической схеме и полученных результатов по снижению содержания водорода при охлаждении металла, автором предложена и апробирована технология производства литейных сплавов, которая предписывает следующие изменения: обрабатывать жидкий алюминий в вакуум-транспортных ковшах экспериментальной машиной «ТАС»; охлаждать металл до температуры не более 800°C за счет увеличения продолжительности отстаивания ковшей; поднять температуру кремния на подине миксера перед заливкой алюминия за счет увеличения времени прогрева кремния минимум до 30 мин; повысить подачу аргона до 6,0 м³/ч (на два ротора) и увеличить скорость вращения роторов до 600 об/мин. Полученные в ходе апробации данной технологии результаты подтверждают факт достижения заявленной в работе остаточной концентрации водорода в литейных сплавах, произведенных на линии «Brochot» (менее 0,10 см³/100 г Al).

В конце диссертационного исследования приведены **основные выводы** по результатам работы.

Основные научные результаты, полученные автором, их последовательность и содержание отражает структуру работы, соответствуют поставленным задачам и свидетельствуют о полноте их решения.

В целом, работа изложена технически грамотным языком. Каждая глава содержит важные результаты научных исследований автора и сопровождается развернутыми выводами. Общее оформление работы соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Научная новизна

В ходе выполнения научных исследований автором диссертации получены следующие результаты, обладающие научной новизной:

1. Установлено влияние легирующих добавок и флюсов на насыщение алюминиевых расплавов водородом, заключающееся в увеличении концентрации водорода в расплаве алюминия при вводе Si в количестве 7 % на 0,072 см³/100 г Al, при вводе лигатуры Al-Ti в количестве 0,1% на 0,038 см³/100 г Al, при вводе лигатуры Mn-Flux в количестве 0,03% на 0,072 см³/100 г Al, при вводе лигатуры Fe-Flux в количестве 0,1 % на 0,04 см³/100 г Al, при вводе Mg в количестве 0,3 % на 0,146 см³/100 г Al, при вводе лигатуры Al-Sr в количестве 0,02 % на 0,018 см³/100 г Al, при вводе лигатуры Al-5Ti-1B в количестве 1,5 кг/т на 0,075 см³/100 г Al, при вводе Cu в количестве 1 % на 0,008 см³/100 г Al.

2. Получены зависимости влияния размера дендритной ячейки на изменение концентрации различных видов водородных включений в алюминиевых сплавах. Так при среднем размере дендритной ячейки в кристаллизованном алюминии более 45 мкм водород выделяется в молекулярном состоянии, а при среднем размере дендритной ячейки менее 30 мкм водород выделяется в атомарном состоянии.

3. Впервые проведены сравнительные исследования концентрации и различных видов водородных включений на коррозионные процессы в алюминии и его сплавах и установлено, что водород выделившийся в молекулярной форме увеличивает глубину распространения коррозии на 200 %, по сравнению с водородом присутствующем в атомарном состоянии.

4. Впервые установлено влияние концентрации и различных видов водородных включений на механические свойства алюминия и его сплавов. Увеличение концентрации водорода с 0,08 до 0,22 см³/100 г Al в образцах с атомарной формой водородных включений практически не оказывает влияние на механические свойства алюминия. Присутствие водорода в молекулярной форме в концентрации от 0,08 до 0,22 см³/100 г Al резко снижает относительное удлинение с 12 % до 6% и временное сопротивление разрыву с 200 МПа до 175 МПа отливок из алюминиевых сплавов.

Полученные результаты соответствуют пп. 1 «Исследование литейных технологий для их обоснования и оптимизации»; 13 «Исследование проблем качества литья» паспорта специальности 2.6.3 - Литейное производство (технические науки).

Практическая значимость

Практическая значимость работы состоит в том, что:

1) Создана методика определения содержания водорода обеспечивающая повышение оперативности и точности пробоотбора, оригинальность которой подтверждена патентом РФ 2651031 «Способ отбора пробы жидкого металла».

2) Разработаны и реализованы новые устройства для отбора проб жидкого металла, техническая новизна которых подтверждена патентами РФ:

- устройство для отбора пробы жидкого металла, патент РФ на полезную модель 174042;

- устройство для отбора пробы жидкого металла из металлотракта, патент РФ на полезную модель 175093.

3) Разработаны и реализованы новые технологии:

- технологическое решение для «закрытого» перелива расплава из электролизера в ВТК с использованием сифона, новизна подтверждена патентом РФ № 2659556;

- технологическое решение для «закрытого» перелива металла из электролизеров и последующей заливки расплава в миксер снижающие насыщение алюминия водородом примерно на 40 % (с 0,049 до 0,029 см³/100 г Al), новизна подтверждена патентом РФ № 2668640,

4) Разработан новый технологический регламент для производства литейных сплавов в виде малогабаритной чушки на линии «Brochot» обеспечивающие концентрацию водорода менее 0,1 см³/100 г Al, что подтверждается соответствующим актом опытно-промышленных испытаний и отражено в разработанном 2ТР 501.02.01.02 (Ред.1) Технология производства малогабаритной чушки из литейного сплава на линии «Brochot» в ЛО-1 с содержанием H₂ до 0,1 см³/100 г Al.

Практическая значимость диссертационной работы Партыко Е.Г. подтверждается тем, что результаты исследований прошли апробацию на предприятиях ОК РУСАЛ и внедрены в учебный процесс и используются при обучении магистров по направлению 22.04.02 «Металлургия» и магистерской программе 22.04.02.07 «Теория и технология литейного производства цветных металлов и сплавов» и аспирантов по специальности 05.16.04 (2.6.3) «Литейное производство».

Приоритет разработанных технических решений подтвержден публикациями в рецензируемых изданиях, докладами на международных и российских конференциях, а также актами опытно-промышленной апробации в производственных условиях.

Обоснованность и степень достоверности полученных результатов

Обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, подтверждается: последовательным решением логически взаимосвязанного комплекса задач, обеспечивающих достижение цели исследования; тщательным и глубоким исследованием теоретических и практических аспектов заготовительного литья алюминия и его сплавов; результатами апробации предложенных автором устройств, установок, конструкций и технологий; большим объемом экспериментального материала, полученного в лабораторных и промышленных условиях с применением современных методик исследований в области литейных технологий и металловедения, современных методов статистической обработки результатов; сопоставлением полученных результатов с данными

других исследователей; эффективностью предложенных технических и технологических решений, подтвержденных результатами промышленных испытаний.

Подтверждение основных результатов диссертации в научной печати

Основные результаты диссертационной работы отражены в 23 печатных трудах и тезисах докладов, из них 11 из перечня журналов, рекомендуемых ВАК, 7 в базе данных Scopus и в 5 патентах РФ.

Анализ содержания диссертации, опубликованных работ, в том числе работ, опубликованных в соавторстве, показал, что все научные положения, выносимые на защиту, выводы и рекомендации принадлежат диссертанту.

Оценка содержания диссертации

Объем и содержание диссертационной работы по степени научной новизны и практической значимости удовлетворяет требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Анализ содержания диссертационной работы убеждает в ее завершенности. Содержание диссертации изложено грамотно, в логической последовательности, а принятая терминология и стиль изложения соответствует общепринятым нормам.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы и ее основные положения.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Полученные в работе научные и практические результаты следует рекомендовать к использованию на предприятиях металлургической отрасли при разработке технологий литья крупногабаритных плоских слитков из алюминиевых сплавов.

Разработанный в работе комплекс теоретических, технических и технологических решений необходимо использовать при подготовке аспирантов по специальности 2.6.3 - Литейное производство (технические науки).

Замечания по диссертационной работе

В диссертации успешно решена сложная в научном и практическом плане задача, однако по работе имеется ряд замечаний и вопросов:

1. В научной новизне (п. 1) и главе 3 представлено влияние легирующих добавок на изменение газосодержания. Известно, что введение титана, как в чистом виде, так и в

составе лигатур, способствует снижению концентрации водорода за счет связывания его в устойчивые гидриды титана и предотвращения выделения водорода в молекулярном виде в процессе кристаллизации. У автора показано, что введение титансодержащих лигатур повышает содержание водорода в сплаве. Как автор может объяснить полученные результаты?

2. Автором предложен способ отбора проб на газосодержание. За счет чего, концентрация водорода по предложенному способу получается выше, чем по стандартной технологии (рис. 2 автореферата)?
3. В табл. 1 автореферата представлено несистемное обозначение единицы измерения газосодержания ($\text{См}^3/100 \text{ г.}$).
4. За счет чего повышаются свойства сплава при нахождении водорода в атомарном виде? Какие дефекты структуры обуславливает водород в молекулярном виде?
5. На странице 87 диссертации, приводится таблица (3.2) с количественной оценкой влияния легирующих добавок на изменение концентрации растворенного в алюминии водорода, однако не указан химический состав данных шихтовых материалов.
6. Диссертант ставил своей задачей снизить концентрацию водорода, однако, в работе отсутствует информация о снижении процента брака заготовительного литья, достигнутых в результате апробации разработок диссертанта.
7. На большинстве графиков отсутствуют планки погрешностей.

Указанные замечания не снижают ценность и общую положительную оценку диссертационной работы, не влияют на основные научные и практические результаты и не затрагивают основных положений, вынесенных соискателем на защиту.

Заключение

Диссертационная работа Партыко Евгения Геннадьевича представляет собой законченную, самостоятельно выполненную, научно квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований решена актуальная научно-техническая задача в области литейного производства, связанная с совершенствованием технологии заготовительного литья алюминия и его сплавов, обеспечивающая

повышения качества продукции за счет снижения концентрации водорода и имеющая важное значение для развития металлургической отрасли.

Научная ценность работы определяется новизной полученных результатов, полученных во время проведения теоретических и экспериментальных исследований закономерностей влияния концентрации водорода и его формы на механические и коррозионные свойства алюминия.

Практическая значимость работы определяется разработкой научно обоснованных технологических решений, гарантирующих получения качественных полуфабрикатов с низкой концентрацией водорода.

Достоверность изложенных в диссертации результатов подтверждается использованием современных методик исследования, применением статистической обработки и опробованием в условиях действующего производства.

Количество и качество публикаций Партыко Е.Г. отвечает п. 11, 13 Положения о присуждении ученых степеней. Автореферат диссертации достаточно полно отражает ее содержание и соответствует требованиям п. 25 Положения о присуждении ученых степеней.

Поставленная цель, задачи исследования, и, соответственно, содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 2.6.3 - Литейное производство (технические науки).

Все перечисленное дает основания считать, что представленная диссертационная работа Партыко Е.Г., в целом, соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 02.08.2016 г.). Автор диссертации, Партыко Евгений Геннадьевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.3 - Литейное производство (технические науки).

Отзыв на кандидатскую диссертацию Партыко Евгения Геннадьевича на тему «Исследование и совершенствование процесса дегазации при заготовительном литье алюминия и его сплавов» подготовил к.т.н., доцент кафедры «Литейные и высокоэффективные технологии» Тимошкин Иван Юрьевич.

Настоящий отзыв обсужден и утвержден на заседании кафедры «Литейные и высокоэффективные технологии» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет»

(протокол № 7 от 02.03.2023 г.), на котором присутствовало 9 научно-педагогических работников, проголосовавших единогласно за утверждение данного отзыва.

Лица, подписавшие отзыв, выражают согласие на включение своих персональных данных в аттестационное дело соискателя Партыко Е.Г. и их дальнейшую обработку.

К.т.н., доцент кафедры «Литейные и высокоэффективные технологии»
ФГБОУ ВО «СамГТУ»



Тимошкин Иван Юрьевич

«02» 03 2023 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет»

Адрес: 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 133

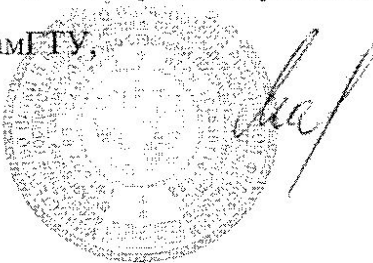
Телефон: +7 (846) 242-22-68, +7 (846) 332-42-27

E-mail: tlp@samgtu.ru

Подпись Тимошкина Ивана Юрьевича удостоверяю

Ученый секретарь СамГТУ,

д-р техн. наук



Ю.А. Малиновская