

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертацию

Костина Игоря Владимировича

«Исследование и совершенствование процесса модифицирования плоских слитков из алюминиевых сплавов 5XXX серии», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04- «Литейное производство»

### **1. Актуальность избранной темы**

В настоящее время главным вектором развития лидера Российской алюминиевой отрасли ОК РУСАЛ стала тенденция увеличения в общей структуре производства металлопродукции высокого уровня обработки, где одним из перспективных направлений является производство плоских крупнотоннажных слитков из алюминиевых сплавов 5XXX серии. Однако существующие технологии данного производства не обеспечивают стабильного получения качественных характеристик по внутреннему строению этих слитков. Поэтому разработка научно-обоснованных технических и технологических решений для обеспечения требуемого уровня качества крупнотоннажных плоских слитков из алюминиевых сплавов серии 5XXX, несомненно, является актуальной научно-технической проблемой. Актуальность работы подтверждается тем, что она выполнялась 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 образования и науки Российской Федерации. Уникальный идентификатор соглашения RFMEFI57816X0193, а также по договору с ОК «РУСАЛ» «Разработка технических решений по достижению мелкозернистой структуры в плоских слитках сплавов серии 5XXX».

### **2. Новизна исследования и полученных результатов**

Успешное достижение поставленной в работе цели позволило диссертанту получить ряд новых и оригинальных результатов. Впервые на основе обобщения экспериментального материала, полученного непосредственно в промышленных условиях, были установлены, изучены и научно обоснованы такие закономерности, возникающие при модифицировании алюминиевых сплавов серии 5XXX, как влияние расхода модификатора Al-Ti5-V1 на минимально возможный размер зерна, а также достижение наиболее благоприятной концентрации модифицирующих частиц лигатурного прутка в

расплаве вдоль металлотректа в зависимости от расхода и места ввода лигатурного прутка. Впервые диссертантом получены аналитические зависимости определения размера зерна в слитке, отлитого полунепрерывным способом, учитывающие, что очень важно, реальные физико-химические свойства сплава и модификатора. Автор эффективно использовал в работе современные программные комплексы ANSYS Fluent и ProCAST со встроенным модулем SAFE, что позволило создать компьютерную модель, учитывающую не только конструктивные и технологические параметры полунепрерывного процесса литья плоского слитка. Для наиболее точного расчета размеров и формы лунки с учетом движения потоков расплава в лунке в модели было учтено влияние распределительной коробки (Combo-Bag) с фильтрующими элементами в виде сетки, что позволило созданную модель максимально приблизить к реальному процессу литья и получить новые знания о форме и размерах лунки во время кристаллизации плоского слитка из сплавов 5XXX серии; спрогнозировать структуру плоского слитка на стационарной стадии кристаллизации полунепрерывным методом и найти распределение объемной концентрации легирующих веществ модификатора системы Al-Ti5-B1 в расплаве вдоль металлотректа от миксера до кристаллизатора.

### **3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и заключений**

Автор в своей работе исходит из комплексности рассмотрения проблемы обеспечения требуемого уровня качества крупнотоннажных плоских слитков из алюминиевых сплавов серии 5XXX. Научные положения работы достаточно обоснованы, опираются на известные проверяемые факты и согласуются с опубликованными экспериментальными данными и научными представлениями о процессе полунепрерывного литья крупнотоннажных плоских слитков, а выводы и рекомендации основаны на результатах экспериментальных исследований, проведенных автором лично, с применением современных научно обоснованных методик.

Автором осуществлена систематизация информации, представленной в отечественных и зарубежных источниках по разрабатываемой тематике, что позволило обоснованно определить место осуществляемых исследований в развитии проблемы, выделить научную новизну и практическое значение полученных результатов.

В ходе проведения диссертационного исследования автор применял современное оборудование. Макроструктуру образцов исследовали 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».

Достоверность экспериментальных данных, выводов и рекомендаций основывается на использовании современных методов и методик исследования алюминиевых сплавов, на применении аппарата математической статистики для обработки полученных результатов, подтверждается воспроизводимыми промышленными экспериментами, эффективностью предлагаемых технических и технологических решений, подтвержденных результатами промышленных испытаний и их внедрением в производство на предприятиях ОК РУСАЛ.

#### **4. Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций**

Автором в результате обобщения экспериментального материала, полученного непосредственно в промышленных условиях, и анализа научно-технической литературы представлены вполне убедительные доказательства, что модифицирование алюминиевых сплавов обусловлено совместным воздействием  $Al_3Ti$  и  $TiB_2$ . Все это было учтено в разработанной им компьютерной модели формирования структуры плоских крупнотоннажных слитков из алюминиевых сплавов 5XXX серии на стационарной стадии кристаллизации полунепрерывным методом с учетом разлива расплава в кристаллизаторе через распределительную коробку Combo-Bag. Результаты компьютерных исследований были подтверждены в ходе лабораторных и промышленных испытаний. При этом научно обоснован минимально достижимый размер зерна для существующих производственных условий.

Показано, что важную роль в процессе модифицирования играет не только расход, но и место ввода модификатора системы Al-Ti-B в расплав вдоль металлотракта от миксера до кристаллизатора с учетом прохождения расплава через дегазатор SNIF и пенокерамический фильтр. Все это позволило выбрать наиболее эффективный вариант модифицирования.

Следует отметить проведенные исследования автором в области оценки качества модифицирующих лигатур системы Al-Ti-B, применяемых в производстве плоских крупнотоннажных слитков из алюминиевых сплавов. Созданная автором оригинальная методика и запатентованные устройства, превосходящие зарубежные аналоги, позволяют более объективно осуществлять входной контроль модификаторов и существенно снизить количество брака по структуре плоских слитков.

Практическая ценность диссертационной работы Костина И.В. также заключается в разработке и реализации технологического регламента по производству плоских слитков серии 5XXX, позволяющий получать плоские слитки с мелкозернистой структурой и подтвержденный проведением опытных плавов на предприятии ОК РУСАЛ и соответствующим актом внедрения.

#### **5. Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям**

Диссертационная работа Костина И.В. построена логично и грамотно, поставленные задачи успешно решены, их оформление соответствует

действующим стандартам и требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Структура диссертационной работы адекватна ее содержанию и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, содержащего 152 источника, и двух приложений. Основной материал изложен на 160 страницах, включая 32 таблицы, 17 формул и 75 рисунков.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, ее цель, показана научная новизна и практическая значимость исследования, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен литературный обзор по тематике исследования, выполнен критический анализ современного уровня развития производства и рассмотрены проблемы качества крупнотоннажных слитков из алюминиевых сплавов серии 5XXX для машиностроения.

Во второй главе представлены разработанные и усовершенствованные методики проведения диссертационных исследований для определения таких показателей качества крупнотоннажных слитков из алюминиевых сплавов серии 5XXX, как уровень водородной и усадочной пористости, состояния микро и макроструктуры слитков, уровня механических и технологических свойств. Основным объектом исследований был алюминиевый сплав 5083, химический состав которого соответствовал требованиям ГОСТ 4784-97.

В третьей главе представлены результаты аналитических исследований и компьютерного моделирования условий образования мелкозернистой однородной структуры при полунепрерывном литье и кристаллизации плоских слитков из алюминиевых сплавов 5XXX серии, снижения водородной и усадочной пористости, а также проанализировано влияние конструктивных и технологических параметров данных процессов на размер зерна.

Описано компьютерное моделирование процесса модифицирования в металлотракте при полунепрерывном литье плоских слитков для выбора рациональной схемы подачи лигатурного прутка, обеспечивающей наибольшее содержание и наиболее равномерное распределение объемной концентрации легирующих компонентов ( $TiAl_3$  и  $TiB_2$ ) в гидродинамическом потоке расплава лигатурного прутка Al-Ti5-B1 (производства KVM Affilips) на раздаточных втулках перед входом в кристаллизатор. Проведено сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований и промышленных испытаний.

В четвертой главе представлены новые технические и технологические решения в области производства крупнотоннажных слитков из алюминиевых сплавов, в том числе усовершенствована технология производства плоских слитков из алюминиевых сплавов серии 5XXX с мелкозернистой структурой для предприятий ОК РУСАЛ, позволяющая производить крупнотоннажные

плоские слитки с мелкозернистой структурой, отсутствием дефектов в виде водородной и усадочной пористости.

В заключении диссертационной работы сформулированы основные выводы по результатам, проведенных исследований.

В приложениях представлены материалы, подтверждающие использование результатов работы в производственной и учебной деятельности.

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.

## **6. Соответствие автореферата диссертации**

Диссертационная работа и автореферат находятся в полном соответствии и по содержанию отвечают паспорту специальности 05.16.04 - «Литейное производство».

## **7. Оценка публикаций автора и апробации результатов исследований**

Публикации по материалам диссертационных исследований в полном объеме отражают основные положения работы. Они представлены в 12 печатных трудах и тезисах докладов, из них 2 из перечня журналов, рекомендуемых ВАК, и в 3 патентах РФ. Разработанные технические и технологические решения успешно прошли промышленные испытания и внедрены на предприятиях ОК РУСАЛ, а также используются при обучении магистров по направлению 22.04.02 «Металлургия», магистерской программе 22.04.02.07 «Теория и технология литейного производства цветных металлов и сплавов» и аспирантов по специальности 05.16.04 «Литейное производство».

По работе имеется ряд замечаний:

1. Работа значительно выиграла, если бы автор сопоставил форму и размеры лунки, полученными в результате компьютерного моделирования и с фактическими данными.
2. Основным объектом диссертационных исследований был алюминиевый сплав 5083, химический состав которого соответствовал требованиям ГОСТ 4784-97, т.е. изменялся в определенных пределах. Однако этот факт не учитывался в исследованиях, в том числе его влияние на значения эмпирических показателей уравнения модифицирования.
3. Чем вызван интерес в диссертационных исследованиях к сплаву 5083 и обусловлен выбор сечения плоского слитка 600x1630 мм?
4. На большинстве графиков не указаны доверительные интервалы.

Указанные замечания не снижают научной и практической ценности работы и носят в основном дискуссионный характер. Диссертационная работа Костина И.В. является законченной научно-квалификационной работой, решающей важную для развития литейного производства задачу по повышению качества крупнотоннажных плоских слитков из алюминиевых сплавов серии 5XXX. Результаты, представленные автором, обладают научной новизной и достоверностью. Личный вклад автора не вызывает сомнений. Диссертационная работа Костина И.В. выполнена на высоком научно-исследовательском уровне, по своей актуальности, научной новизне, практической значимости, полученным научным результатам соответствует паспорту специальности 05.16.04 - «Литейное производство», отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Костин Игорь Владимирович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04 - «Литейное производство».

Официальный оппонент:

Главный научный сотрудник ГНЦ  
РФ АО НПО ЦНИИТМАШ, д.т.н.



Батышев

Константин Александрович

01.06.2018г.

Подпись Батышева К.А. заверяю

Ученый секретарь АО «НПО ЦНИИТМАШ» Бараненко М.А.

Батышев Константин Александрович, главный научный сотрудник лаборатории литейных процессов – отдел металлургии стали ИМиМ, Государственный научный центр Российской Федерации Акционерное общество «Научно-производственное объединение «Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения», г. Москва, ул. Шарикоподшипниковская, д.4, корп. 1 а.

e-mail: [konstbat@rambler.ru](mailto:konstbat@rambler.ru), тел.: 8-903-018-17-07