



Россия, 141400, Московская область,
г. Химки, ул. Рабочая, д. 2 А
Тел./Факс: + 7 (495) 739-16-80

2 A, Rabochaya Str.
Moscow region, Khimki, 141400, Russia
Ph./Fax: + 7 (495) 739-16-80

Исх. № 250
от «10» 2016

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию
Фролова Виктора Федоровича на тему:

**«Исследование и разработка новой технологии
производства плоских слитков из алюминиевых сплавов
серии 1XXX для фольгопрокатного производства»**

по специальности 05.16.04 – Литейное производство

Алюминий и его сплавы по объемам производства и потребления занимают второе место после стали, причем сферы потребления постоянно расширяются. Основную долю всего объема производства алюминиевых сплавов занимают деформируемые сплавы для изготовления листов, профилей, прутков и других видов полуфабрикатов. Решающим фактором при производстве деформируемых сплавов является качество слитка и, как следствие, повышение эффективности конечной продукции.

В этой связи выбранный автором комплексный подход к решению повышения качества плоских слитков из сплавов серии 1XXX, заключающийся в исследовании режима литья слитков и их кристаллизации, изучении механизма образования дефектов и определении оптимальной литой структуры, позволяет разработать новую технологию производства высококачественных слитков, что является весьма актуальным и можно отнести на алюминиевые сплавы других систем.

Представленная диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы, содержащего 101 источник, и 4 приложений.

Основной материал изложен на 206 страницах, включая 31 таблицу и 69 рисунков. Диссертация написана грамотным техническим языком, что подтверждает хорошую эрудицию соискателя.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи, представлены научная новизна и практическая значимость, приведены основные положения и результаты, выносимые на защиту.

В первой главе очень подробно проведен анализ современного оборудования для производства плоских слитков и литой полосы толщиной 10-15 мм из алюминиевых сплавов серии IXXX для фольгопрокатного производства. Достаточно подробно проведен анализ качества плоских слитков из алюминиевых сплавов на основе технической литературы и показаны характерные дефекты плоских слитков, из которых автор диссертационной работы выделяет три основных дефекта: структура елочная, структура веерная и плавающие кристаллы. Установлены причины образования этих дефектов, что позволило автору работы определить цели и задачи диссертационного исследования. Заслуживает внимания проведенный анализ современных методов компьютерного моделирования процесса литья, что позволило автору провести исследование процесса литья и кристаллизации плоских слитков.

Во второй главе приведены объект исследования и методики изучения. Необходимо отметить большой объем и разнообразие проведённых экспериментальных работ, как в лабораторных, так и в промышленных условиях, причём объектом исследования были сплавы 1050, 1100 и 1200. В этой главе подробно описаны методики приготовления исследуемых сплавов, разработана схема отбора образцов для исследования качества слитков, микроструктуры и определения механических свойств листов из указанных выше сплавов. Исследование внутреннего строения слитков проведено на современном микроскопическом оборудовании Stemi 2000-C и Axio Observer Alm фирмы «Carl Zeiss», а количественная оценка структуры слитка

проведена методом линейного анализа по программе обработки цифровых изображений структур Axio Vizion фирмы «Carl Zeiss». Определение деформируемости и механических свойств проведено на плоских образцах, прокатанных на прокатном стане ДУО фирмы «Марио ди Майо».

Результаты исследования слитков и прокатанных образцов полученные как в лабораторных, так и в промышленных условиях достоверны.

В третьей главе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований механизма образования дефектов в виде FTS, «плавающих» кристаллов и веерной структуры, образующиеся при кристаллизации плоских слитков сплавов 1050, 1100 и 1200, а также проведён анализ технологических параметров на их образование в процессе литья.

Анализируя диаграммы состояния Al-Si, Al-Fe и Al-Fe-Si, автор определил области в зависимости от соотношения железа и кремния, в которых образуется или не образуется елочная структура. Эта закономерность структурообразования была им объяснена следующим образом. При соотношении $Fe/Si > 3.5$ в тройной системе Al-Fe-Si происходит образование стабильной фазы в виде эвтектики ($\alpha + Al_3Fe$), а при соотношении $Fe/Si < 1.5$ образуется тройная фаза Al_8Fe_2Si . Образование дефекта в виде елочной структуры автор объяснил различиями между составами интерметаллидов Al-Fe, которые кристаллизуются на поверхности и в центре слитка, и определил их состав в двух областях: Al_3Fe и Al_6Fe ; Al_6Fe и $AlmFe$. Установлено, что при увеличении содержания железа и кремния наблюдается мелкое зерно вследствие образования устойчивых интреметаллидов и эвтектик Al-Si, которое характерно в условиях интенсивного охлаждения слитка.

Анализ химического состава промышленных плавок из сплавов 1050, 1100 и 1200 показал, что микропримеси никеля, магния, ванадия, хрома и других элементов в количестве более 50 ppm способствует появлению елочной структуры в слитках.

В результате обобщения экспериментального материала автором было установлено, что при скорости охлаждения слитка менее 0,5°C/сек образуется елочная структура на основе интерметаллидов Al_3Fe и Al_6Fe , а при скорости охлаждения более 15°C/сек – на основе интерметаллидов Al_6Fe и $Al_{13}Fe$. Поэтому при разработке технологического процесса отливки слитков были установлены оптимальные скорости охлаждения, которые определяются параметрами литья.

Научный интерес представляет анализ зон плавающих кристаллов и определения их взаимодействия с интерметаллидами в модифицирующем лигатурном прутке. Изучение этих зон показало, что в слитках присутствуют избыточные фазы пластинчатой, игольчатой и компактной форм в виде вырожденной эвтектики, а также колоний эвтектических кристаллов, расположенные как по границам зерен, так и по границам дендритных ячеек. Следует отметить, что в этих зонах обнаружены укрупненные кристаллы размером 0,25 – 0,45 мм. Эти результаты хорошо проиллюстрированы изучением микроструктуры образцов слитков из сплава 1200, приведенные в диссертационной работе.

В четвертой главе представлен обширный экспериментальный материал по исследованию процесса модификации сплавов серии 1XXX. Проведено исследование качества лигатур различных поставщиков и выбрана оптимальная лигатура, с введением которой в расплав получен наиболее стабильный размер зерна по всему объему слитка. Были определены места ввода лигатурного прутка для получения мелкого зерна в слитке с помощью компьютерного моделирования. Было установлено, что наиболее гомогенное распределение интерметаллидов по желобу наблюдается при введении в расплав лигатурного прутка $AlTi5B1$. Это позволило разработать методику по определению эффективности модифицирующей лигатуры в технологическом цикле производства плоских слитков, что позволяет исключить операцию резки слитков для отбора темплетов. Последнее позволит несколько поднять выход годного.

Необходимо отметить, что автор диссертационной работы представил очень большой экспериментальный материал, который позволил ему разработать технологию отливки плоских слитков и внедрить ее в производство.

В пятой главе на основе научных исследований и большого экспериментального материала были разработаны новые технические и технологические решения, которые позволили автору разработать технологический процесс производства плоских слитков серии 1XXX, позволяющий исключить образование дефектов типа елочной и веерной структур, а также плавающих кристаллов. Для получения достоверной информации по измельчению зерна в слитке была разработана установка для исследования модифицирующей способности лигатур, которая была запатентована в России.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Настоящая диссертационная работа по своим целям, задачам, содержанию, методам исследования и научной новизне соответствует следующим пунктам паспорта специальности 05.16.04 – Литейное производство (технические науки):

- пункт 4. Исследование литейных технологий для их обоснования и оптимизации;
- пункт 6. Разработка методов моделирования процессов модификации, заливки, затвердевания и охлаждения литьих заготовок;
- пункт 13. Исследование проблем качества литья;
- пункт 15. Исследование процессов формирования свойств литьевых сплавов.

В целом, анализируя представленную работу, можно констатировать, что полученные автором результаты оригинальны, имеют признаки научной новизны:

- научно обосновано, что появление дефектов в виде плавающих кристаллов, елочной и веерной структур связано с условиями образования интерметаллидов Al_6Fe , AlmFe и Al_3Fe , и предложены температурно-скоростные режимы отливки слитков, гарантирующие отсутствие указанных дефектов;
- на основе большого экспериментального материала установлены закономерности возникновения елочной структуры в зависимости от соотношения железа и кремния, скорости охлаждения слитка и присутствия микропримесей;
- установлено, что структура в зоне плавающих кристаллов не имеет существенных отличий от структуры основного металла, а их образование не связано с наличием интерметаллидов, присутствующие в лигатурном прутке $\text{AlTi}5\text{B}1$.

Несомненным достоинство работы является тот факт, что ее основные результаты воплотились в разработку новой технологии отливки плоских слитков из алюминиевых сплавов серии 1XXX в производственных условиях, которая гарантирует отсутствие дефектов в слитках.

Личный вклад автора состоит в постановке научно-исследовательских и технологических задач, выборе методики, проведения лабораторных экспериментов и промышленных испытаний, в обобщении и научном обосновании результатов и формулировке выводов.

Достоверность и обоснованность полученных в работе результатов, выводов, разработанных методик и технологии основана на использовании современных методов исследования, математического и компьютерного моделирования, внедрением технологии в промышленных условиях и патентами.

Полученные автором результаты в полном объеме опубликованы в семи изданиях, два из которых внесены в перечень ВАК, обсуждались на двух Международных конгрессах «Цветные металлы и минералы» в 2014 и

2015 гг. Автором совместно с сотрудниками получено два российских патента и подана одна заявка.

При рассмотрении представленной диссертационной работы и автореферата отмечены следующие замечания:

1. Не указано количество испытанных образцов на точку при определении механических свойств листов из алюминиевого сплава серии 1XXX;
2. В тексте диссертации и автореферате термин «елочная структура» классифицируется двумя названиями FTS и fir tree, что неправильно;
3. Более правильно термин «плавающие кристаллы» определить как «светловина», потому что они являются разновидностью «светловины», а этот термин принят в металлургии легких металлов;
4. Как объяснить неоднородность по содержанию водорода в расплаве, приведенную в таблице 2.1 (с. 48).

Несмотря на отмеченные замечания, можно констатировать, что диссертация Фролова Виктора Федоровича на тему: «Исследование и разработка новой технологии производства плоских слитков из алюминиевых сплавов серии 1XXX для фольгопрокатного производства» является законченной научно-квалификационной работой, которая содержит решение задачи повышения качества плоских слитков на основе комплексного исследования литьевых процессов для изготовления фольгопрокатной продукции.

Таким образом, диссертационная работа соответствует действующему положению о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор Фролов Виктор Федорович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04 – «Литейное производство».

Официальный оппонент
д-р техн. наук, старший научный
сотрудник, заместитель генерального
директора ООО «Интермикс Мет»

10.10.2016г.

В.И. Напалков
(Напалков
Виктор Иванович)