

ОТЗЫВ

на диссертационную работу Катаева Владимира Викторовича «Разработка технологии получения железоалюминиевых сплавов», представленную к защите в диссертационный совет УрФУ 05.08.19, созданный в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Металлургия чёрных, цветных и редких металлов

Актуальность темы работы

В настоящее время выпускают пять марок алюминиевых чугунов, в том числе и чугун марки ЧЮ22Ш, вместо которого диссертант решил производить свой жаростойкий сплав, эти чугуны находят спрос в современной промышленности. Некоторые их свойства, например, обрабатываемость лучше, чем у перлитных чугунов, хорошая прочность даже при длительной выдержке при 1000 градусов Цельсия, причем при повышении содержания углерода она улучшается.

Есть несколько способов получения алюминиевых чугунов, они не представляют больших сложностей, главное - модифицирующие присадки должны быть растворены предварительно в алюминии. После получения сплава его дополнительно отжигают для снятия остаточных напряжений при температурах 700 – 750 $^{\circ}\text{C}$

В последние годы появились очень жаростойкие стали, в которых количество легирующих элементов зашкаливает. Поэтому поиск снижения их стоимости является актуальной задачей, которую попытался решить В.В. Катаев.

Интерес автора к чугунам и сталям, легированных алюминием, так как они обладают высокой жаростойкостью, как он пишет: ...«относительно недорогим алюминием» (достаточно спорный тезис). Кроме того, автор утверждает: «простой и экономичной технологии их получения на сегодняшний день пока нет» (спорный тезис, способ получения СЧ22Ю прост), а промышленности нужен экономичный, получаемый из недорогого недефицитного сырья железоа-

11-19/1-107
10.03.2017

люминиевый конструкционный жаростойкий сплав, близкий по своим служебным свойствам с хромоникелевыми сталями (это верно).

Разработка технологии получения недорогих жаростойких сплавов, обладающих высокими служебными свойствами, по мнению автора, имеет актуальное значение. При востребованности таких сплавов промышленностью, metallurgические заводы на основе разработанных технологий способны их выплавлять.

Целью работы является разработка технологии получения недорогих углеродистых и низкоуглеродистых жаростойких железоалюминиевых сплавов, не содержащих хром и никель и обладающих высокой жаростойкостью. В качестве шихты вместо хрома и никеля могли бы использоваться относительно недорогие лом алюминия, чугуна и низкоуглеродистой стали, а технология их выплавки не была бы менее затратной, чем затраты для хромоникелевых сплавов. Необходимо отметить несоответствие цели работы, в автореферате и в диссертации (стр. 8 и стр. 30).

Задачи, поставленные в соответствии с целью:

- анализ литературных и патентных данных о существующих на сегодняшний день технологиях выплавки железоалюминиевых сплавов;
- проведение термодинамических расчетов и анализ температурной зависимости изменения фазового состава в системе Fe-Al-C при содержании алюминия от 10,0 до 30,0 мас. % и углерода от 0,1 до 3,0 мас. %;
- исследование структуры железоалюминиевых сплавов (лигатур) и их связь со структурой и составом шихтовых материалов и технологическим режимом выплавки;
- определение жаростойкости низкоуглеродистого конструкционного железоалюминиевого сплава в зависимости от вводимых в него модифицирующих элементов, а также его структуры;
- проведение опытно - промышленных испытаний разработанных технологий.

Структура и содержание диссертации

Во введении показана актуальность работы, есть цель и задачи и все остальные необходимые пункты для представления о работе.

В первой главе достаточно подробно показано, что при смешении железоалюминиевых сплавов есть высокое значение энтропии во всей области составов, а также большие отрицательные отклонения от идеальных растворов. В системе Fe-Al возможно образования большого количества интерметаллидов в широком диапазоне составов. Избыток углерода может вызывать водородное охрупчивание, но оказывает на сплавы упрочняющее действие. Сделан вывод, что есть и другие возможности получения алюминиевого чугуна и низкоуглеродистой стали, легированной алюминием.

Главу: «Методика исследования, материалы и оборудование», автор отнес в приложения (что не указал на стр. 4 автореферата), это не возбраняется, но доставило максимум неудобств при чтении работы. В целом методы исследования, выбранные для решения поставленных задач с помощью программного комплекса «HSC - 6.1», позволили автору решить поставленные задачи.

Во второй главе представлены расчетно-теоретические исследования температурной зависимости фазового состава системы Fe-Al-C и выбор оптимального состава алюминиевого чугуна, проведенные с помощью программного комплекса «HSC - 6.1».

Провели термодинамическую оценку влияния содержания алюминия от 10,0 до 30,0 и углерода от 0,1 до 3,0 мас. % на фазовый состав системы Fe-Al-C при различных температурах. Показано, что содержание фазы Fe_3C с ростом температуры увеличивается, а содержание Al_4C_3 уменьшается. Точка пересечения указанных зависимостей от температуры находится примерно на уровне 550 °C. При увеличении содержания углерода до 3,0 мас. % эта точка смещается в сторону более высокой температуры - 800 °C. При содержании углерода более 2,0 мас. % возможно появление свободного углерода. Также определено, что содержание алюминия в железоалюминиевом сплаве 22,0 мас. % является условно критическим, выше которого значительно возрастает вероятность выделения структурно свободного графита.

Автор отмечает, что теоретические исследования не позволяют оценить влияние других факторов на формирование структуры сплавов. Но с помощью различных методов металлографического анализа провел исследование зависимости фазового состава железоалюминиевых сплавов: морфологию, размер, количество и состав образующихся в них фаз, от содержания ведущих элементов и скорости охлаждения жидкого металла. Кроме того, автор решил влиять на структуру конечного металла вводом специальных добавок (три), которые выплавил в индукционной печи. Измерил их кинематическую вязкость и установил, что чистый алюминий и медленно охлажденный ферроалюминий ФА30-М (добавки номер I и II) не пригодны для модифицирования, так как для I-ой невозможно установить температуру гомогенизации и имеется гистерезис между кривыми нагрева и охлаждения, а для II-ой - высокая температура гомогенизации 1660 $^{\circ}\text{C}$. Наиболее подходящей оказалась добавка III ФА30-В (охлажденная со скоростью 1650 град/мин), которая делает расплав гомогенным уже при температуре 1470 $^{\circ}\text{C}$.

Выплавленный чугун, полученный по третьему варианту, показал высокие служебные свойства и имел более однородную структуру, чем у сплава II и тем более сплава I. Центральная пористость отливки из этого чугуна соответствовала 0 баллу (ГОСТ 10423-75), твердость 20 HRC, т. е. такой чугун можно механически обрабатывать.

В третьей главе автор представил технологию выплавки жаростойкого низкоуглеродистого железоалюминиевого сплава, чтобы конкурировать с хромоникелевой сталью 20Х23Н18 (по его мнению дорогую).

В экспериментах исследовали три варианты шихты: с минимальным содержанием углерода и различным, мас. % алюминия: I - 12; II - 14; III – 16. По диаграмме состояния эти содержания алюминия должны обеспечить матрицу сплава в виде Fe_3Al .

В процессе выплавки сплава наводили на синтетический шлак, состав которого должен был образовывать легкоплавкую эвтектику с температурой плавления 1280 $^{\circ}\text{C}$. Исследовав микроструктуру выплавленных сплавов и про-

ведя механические испытания, установили, что наилучшим является второй вариант выплавки стали. Кроме того, установили зависимость величины зерна, степень его неравномерности, твердость полученных фаз зависит от содержания Al, а твердость матрицы и карбидной фазы при этом тоже увеличивается.

Чтобы разработать технологию выплавки жаростойкой стали автор исследовал оптимальный состав шлака, необходимого для защиты сплава от окисления. Выбрано три метода: I – одновременный ввод всех шихтовых материалов; II – через лигатуру, когда сначала получают расплав с высоким (30 %) содержанием алюминия, а затем вводят в сталь для получения сплава нужного содержания алюминия; III – последовательный ввод всех шихтовых материалов. Для исследования использовали: промышленный шлак ОПВА, промышленный белый шлак АКП и синтетический шлак эвтектического состава ЭШ. Температуры плавления шлаков колебались от 1280 до 1490 °С.

Исследования шлаков с помощью РСМА, химического состава металла и его механических свойств показали, что фазовый состав полученных сплавов не зависит от содержания в сплавах алюминия, а зависит от состава наводимого шлака и в основном от чистоты происхождения шлакообразующих материалов. Наиболее высокие значения механических свойств обнаружили у сплавов, полученных по третьему методу (со шлаком ЭШ).

Кроме того, с целью получения более высоких служебных свойств сплавов, исследовали различные модификаторы (ФТи-30, Insteel 7, цирконий), которые могут снижать вредное влияние кислорода, серы и азота. Провели семь вариантов плавок, в том числе, без модификаторов. Равноосную или близкую к ней структуру стали получили лишь после модификации ферротитаном и ферротитаном + цирконий.

Далее автор исследовал показатели жаростойкости четырех выплавленных сплавов. Установил, что все модифицированные сплавы имеют жаростойкость выше, чем у стали 20Х23Н18. Особенно хорош сплав, модифицированный титаном.

Разработанная технология выплавки жаростойких сплавов была успешно опробована в лабораторных условиях.

В четвертой главе рассмотрена возможность опытно-промышленного испытания предложенной технологии получения жаростойкого алюминиевого чугуна в условиях литейного участка ООО «Литейное производство УБМ» (г. Верхние Серги, Свердловская область). Полученный чугун соответствовал требованиям ГОСТ 7765-82, а стоимость производства его в три раза ниже, чем ЧЮО22Ш.

Жаростойкий низкоуглеродистый алюминиевый сплав был выплавлен на предприятии ООО НПП «Альфа-Мет» (г. Екатеринбург). Полученный сплав был испытан на прочность и показал хорошие результаты как по макро – так и микроструктуре. Кроме того, его жаростойкость была выше, чем у стали 20Х23Н18.

Поставленная задача разработать технологии получения алюминиевого чугуна и жаростойкого низкоуглеродистого сплава была выполнена.

Все материалы диссертации достаточно хорошо представлены списком опубликованных им в соавторстве научных статей, различных докладов на региональных и международных конференциях. В то числе статьи в рекомендованных ВАК РФ (их шесть), есть патент РФ на изобретение.

Текст автореферата по содержанию соответствует тексту диссертации.

Научная новизна работы и практическая значимость

Показана зависимость конечной структуры железоалюминиевой лигатуры, содержащей 30 мас. % Al, от скорости её охлаждения, анализ которой позволил подобрать лигатуру для производства алюминиевых чугунов.

Путем исследования кинематической вязкости расплавов показана наследственная связь структуры вводимой быстро охлажденной легирующей добавки ФА-30 с гомогенностью структуры конечного металла.

Получены новые данные о влиянии введения в низкоуглеродистый железоалюминиевый расплав титана в пределах от 0,8 до 1,1 мас. % и циркония в пределах от 0,1 до 0,2 мас. % на его жаростойкость, что позволило повысить ее

в конечном металле в сравнении с рядовой хромоникелевой жаростойкой сталью 20Х23Н18 при выдержке 200 ч и при температуре 1000 °С в 2,5 раза (с 0,02 мг/(см²·ч) до 0,006 мг/(см²·ч)).

Практическая значимость заключается в том, что на основе исследования свойств и структур углеродистого и низкоуглеродистого железоалюминиевых жаростойких сплавов:

- разработана новая технология выплавки алюминиевого чугуна с улучшенными служебными свойствами, что подтверждено патентом РФ № 2590772 «Способ получения алюминиевого чугуна»;
- разработана новая технология выплавки железоалюминиевого сплава, обладающего повышенной жаростойкостью.

Разработанные технологии прошли опытно-промышленные испытания, опробованы в промышленном масштабе на чугунолитейном заводе ООО «Литейное производство УБМ» (г. Верхние Серги) и сталелитейном заводе ООО НПП «Альфа-Мет» (г. Екатеринбург), что подтверждено соответствующими актами.

Достоверность полученных результатов подтверждена применением современных методов РСФА и РСМА, вискозиметрии, а также применением современных методов определения жаростойкости сплавов. Кроме того, результаты работы опробованы на нескольких предприятиях в промышленном масштабе с положительными результатами.

Замечания

1. Как определены скорости охлаждения различных добавок (I – III варианты)?
2. Где в диссертации доказательство наследственности связи структуры быстро охлажденной добавки с гомогенностью структуры конечного металла? Не показана вязкость расплава.
3. Недостаточно теоретической значимости работы.

4. Что значит оптимальный состав? Какие критерии оптимальности принимали?

5. Рис. 3, 4 (автореферата) и 3.8 построены неправильно: по оси ординат и абсцисс заложены не те показатели, которые в подписях рисунков.

6. Почему принято, что температура плавления шлака равна 1280°C ? Исследований еще не было.

7. Описаны механические свойства полученных сплавов, отмечено (стр. 14 автореферата) удаление серы и других вредных примесей. Где эти данные в конечном продукте?

8. Есть разница в написании цели работы в автореферате и в диссертации.

9. Фактически нет обоснования выбора плавильного агрегата.

10. В работе есть грамматические и технические ошибки: стр.35 град./мин.; на этой же стр. слово скорость, а надо скоростью; повторный текст на стр. 34 и 38; подпись под рис. 2.8; стр. 49 - часов, надо ч; написано ФТИ-30, затем ФТИ 30; написано ФА30-М 44, Фа30-В на стр. 43, а в табл. 2.2 ФА 30-М, ФА 30-В; в табл. 4 автореферата нет результатов механических испытаний сплавов; рис. 7 автореферата - подрисуночная подпись выполнена с переносом и тд.

Наличие указанных замечаний не снижает ценность выполненной работы, и ее можно считать законченной квалификационной работой на соискание научной степени кандидата технических наук.

Заключение

Диссертационная работа «Разработка технологии получения железоалюминиевых сплавов» представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу, содержащую решение важной научной и технологической проблемы - разработка более дешевых жаростойких сплавов с применением относительно дешевого алюминия. Эффективность проведенных исследований и рекомендаций подтверждена достоверностью и внедрением разработок в производство, наличием актов о внедрении.

Диссертационная работа соответствует требованиям, установленным п 9 Положения о присуждении учёных степеней в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», а её автор, Катаев Владимир Викторович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Металлургия чёрных, цветных и редких металлов.

Официальный оппонент:
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры литейных
процессов и материаловедения
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»,
заслуженный деятель науки РФ,
лауреат Премии Правительства РФ

Вдовин Константин Николаевич

«04» марта 2020 г.

455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск, проспект Ленина, д. 38, «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»/
8(351) 901-54-21; e-mail: vdovin@magtu.ru

Подпись Вдовина К.Н. заверяю

