

Библиографический список

1. Еланский Г.Н, Линчевский Б.В, Кальменев А.А. Основы производства и обработки металлов. М.: МГВМИ, 2005. 416 с.
2. Исследование технологии жидкофазного восстановления уральских титаномagnetитов / Б.А. Никифоров, В.А. Бигеев, А.Н. Бурдюков, А.В. Пантелеев // Прогрессивные процессы и оборудование металлургического производства. Череповец, 2006. С. 37.

УДК 669.14.018.298.583

М. Х. Зиатдинов, И. М. Шатохин, А. С. Бессмертных, В. Ф. Коротких,
А. В. Кутищев, Е. П. Годына, И. Р. Манашев, А. Е. Букреев

ПРОИЗВОДСТВО АЗОТИРОВАННОГО ФЕРРОСИЛИЦИЯ В РЕЖИМЕ ГОРЕНИЯ

Азотированный ферросилиций, широко известный за рубежом как нитрид ферросилиция, представляет собой композиционный материал, основным компонентом которого является нитрид кремния Si_3N_4 . Количество нитрида составляет обычно 70...80%, остальное – железо и его силициды, а также неизбежные примеси, характерные для ферросилиция. Нитрид ферросилиция впервые был получен в Японии и начал применяться в качестве упрочняющей добавки в неформованных огнеупорах, преимущественно в желобных и леточных массах для доменного производства [1].

Позднее азотированный ферросилиций стал применяться в качестве легирующего материала при выплавке высокоазотистых нержавеющей сталей путем электрошлакового переплава под давлением [2]. Благодаря высокому содержанию азота в нитриде ферросилиция (~30%) стало возможным выплавлять металл со сверхвысокой концентрацией азота (до 1,2%) при минимальном расходе легирующего материала. По сравнению с традиционно используемыми для этих целей азотированными сплавами хрома и марганца расход лигатуры снизился в несколько раз [3].

Основным компонентом азотированного ферросилиция, как указано ранее, является нитрид кремния Si_3N_4 . Расчетное содержание азота в нитриде кремния составляет 39,9%. При этом он практически не имеет области гомогенности и при нормальном давлении устойчив до 1900°C. При его образовании выделяется теплота в количестве:



Высокая экзотермичность реакции позволила осуществить синтез нитрида кремния в режиме горения без использования традиционного печного оборудования [4]. Адиабатическая температура горения кремния в азоте, рассчитанная по методике [5], очень высока и составляет 4300°C. При этом

предполагается, что теплопотери в окружающую среду отсутствуют, а весь кремний полностью превращается в стехиометрический нитрид.

Адиабатическая температура горения ферросилиция в азоте ниже, чем у чистого кремния, т.к. тепловой эффект его взаимодействия с азотом тоже заведомо ниже экзотермичности системы кремний – азот. Основной причиной этого является наличие в ферросилиции значительного количества железа, которое в отличие от кремния реагирует с азотом практически без тепловыделения, а образующиеся при этом нитриды железа Fe_4N и Fe_2N термически неустойчивы [6]. Другой причиной меньшей экзотермичности ферросилиция является то, что кремний и железо в нем связаны в термически устойчивые силициды, на разложение которых необходимо затратить значительное количество энергии.

На рис. 1 представлена зависимость адиабатической температуры горения ферросилиция в азоте от концентрации железа в сплаве. В ее расчетах, естественно, сделан ряд допущений. Однако, несмотря на это обстоятельство, расчет адиабатической температуры горения позволяет подтвердить

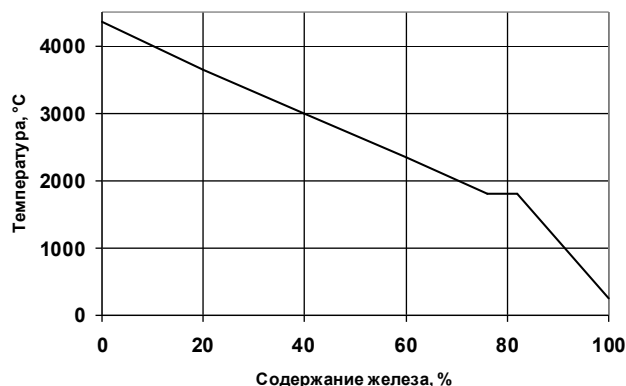


Рис. 1. Расчетная адиабатическая температура горения системы ферросилиций – азот

возможность осуществления СВС-процесса в системе ферросилиций – азот, а также оценить предельно возможную величину ее разогрева.

Расчеты составов продуктов азотирования ферросилиция в режиме горения дают следующие результаты. При использовании в качестве исходного сырья ферросилиция со стандартным содержанием кремния 45, 65 и 75% можно получить продукты с максимальным содержанием азота 23,0; 30,2 и 33,3% соответственно, что в перерасчете на нитрид Si_3N_4 составит 57,6; 75,5 и 83,2%. Адиабатическая температура горения при синтезе таких сплавов будет достигать 2500, 3200 и 3500°C соответственно.

Таким образом, есть реальные термодинамические предпосылки для успешного осуществления СВ-синтеза в системе ферросилиций – азот в широком диапазоне исходного состава сплава.

Нитрид ферросилиция за рубежом используется более 25 лет. Однако для российской металлургии он является сравнительно новым материалом. Его производство, основываясь на возможности осуществления СВС, в промышленных масштабах впервые в России освоено в ООО «Научно-техническая производственная фирма «Эталон», г. Магнитогорск (ООО «НТПФ «Эталон»). По подбору оборудования, подготовке шихты, объему СВС-реакторов (150 л) и масштабам производства оно не имеет аналогов в мире. Это обстоятельство является следствием научного подхода к реализации СВС-технологии.

Как следует из результатов исследования [7], азотирование металлических порошков происходит по механизму фильтрационного горения. Горение порошкообразного ферросилиция в азоте происходит также по закономерностям этого механизма.

Отличительной особенностью фильтрационного СВ-процесса является доставка газообразного реагента в зону горения путем фильтрации через пористую среду, образованную металлическим компонентом. Фильтрация газа возникает и постоянно поддерживается за счет разности давлений во внешней среде и в зоне реакции. Давление газа в зоне реакции постоянно снижается в результате интенсивного поглощения азота ферросилицием при высокой температуре.

Для фильтрационного горения характерна сильная зависимость параметров процесса от характеристик реагирующей системы, определяющих условия фильтрации, а именно: давление азота, пористость порошковой шихты, дисперсность порошка ферросилиция, а также геометрических размеров тиглей, где осуществляется синтез. Кроме того, на параметры процесса горения

порошка ферросилиция в азоте будут влиять исходные условия, определяющие тепловой баланс в системе, в частности: количество инертных компонентов в шихте, начальная температура компонентов реагирующей смеси, введение активизирующих добавок, возможность плавления исходных порошков и продуктов реакции.

Лабораторными исследованиями СВС установлено, что все параметры процесса (скорость и температура горения, содержание азота в продукте реакции), хотя и в разной степени, увеличиваются с ростом давления азота и содержания кремния в ферросилиции (рис. 2).

Учитывая выявленные закономерности фильтрационного горения и предложения по способу производства легирующего материала на основе нитрида кремния [8, 9], в «НТПФ «Эталон» были подобраны основные параметры СВС-технологии азотирования ферросилиция – давление азота и гранулометрический состав порошка.

Необходимые плотность упаковки и пористость шихты достигаются за счет подобранной уникальной технологии ее загрузки в тигли и сушки с помощью специальной вакуумной системы. Это обеспечивает высокую газопроницаемость столба шихты. Малые колебания гранулометрического и химического состава применяемого по-

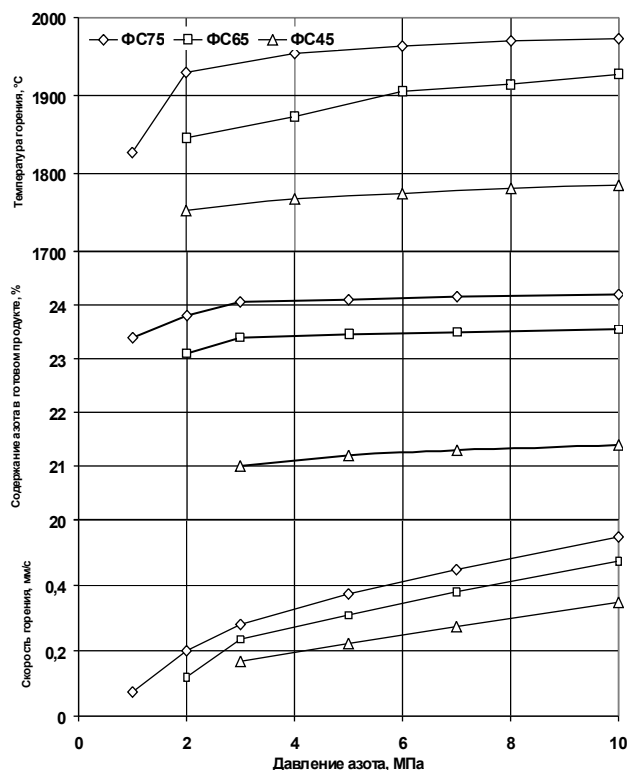


Рис. 2. Влияние давления азота на скорость горения, содержание азота в готовом продукте и температуру горения

рошка ферросилиция и надежно работающая система азотоснабжения СВС-реакторов в сочетании с оптимальной газопроницаемостью шихты, в свою очередь, обеспечивают устойчивость технологии, надежную воспроизводимость ее результатов, а также высокую производительность процесса.

В начале освоения производства азотированного ферросилиция в качестве шихты использовали порошок 75%-ного ферросилиция. Однако из-за высокой температуры горения (более 1900°C) произошло несколько случаев прогара СВС-реакторов. Для снижения температуры во фронте горения и уменьшения вероятности появления в нем большого количества жидкой фазы, снижающей газопроницаемость шихты, в ее состав в качестве инертной добавки ввели порошок азотированного ферросилиция. Это мероприятие полностью исключило случаи прогара реакторов.

В настоящее время азотированный ферросилиций производится для непосредственного леги-

рования азотом трансформаторной стали нитридного варианта ингибирования и для приготовления неформованных огнеупоров. Оба продукта в основном используются Магнитогорским металлургическим комбинатом при выплавке указанной стали в конвертерном цехе [10] и в качестве упрочняющего компонента в составе леточных масс для доменного производства.

Для легирования трансформаторной стали используется нитрид ферросилиция с содержанием азота 18...23%. Для приготовления леточных масс азотированный ферросилиций производят с содержанием азота 20...25%. Это достигается небольшими изменениями состава металлической шихты.

В заключение следует отметить, что в последнее время к использованию азотированного ферросилиция, производимого ООО «НГПФ «Эталон», стали проявлять интерес ряд российских металлургических и огнеупорных предприятий.

Библиографический список

1. Огнеупоры и их применение: Пер. с яп. / Под ред. Инамуры Я.М. М.: Металлургия, 1984. 448 с.
2. Pant P., Dahlmann P., Schlump W., Stein G. A new nitrogen alloying technique 2 way to distinctly improve the properties of austenitic steel // Steels research. 1987. № 1. P. 18–25.
3. Menzel J., Stein G., Dahlmann P. Manufacture of N-Alloyed steels // Preprints for the 2nd International Conference. Aachen. 1990. P. 365–371.
4. О механизме и закономерностях горения кремния в азоте / Мукасьян А.С., Мартыненко В.М., Мержанов А.Г., Боровинская И.П., Блинов Н.Ю. // Физика горения и взрыва. 1986. Т. 12. № 5. С. 43–49.
5. Новиков Н.П., Боровинская И.П., Мержанов А.Г. Термодинамический анализ реакций самораспространяющегося высокотемпературного синтеза // Процессы горения в химической технологии и металлургии: Сб. трудов / Под ред. А.Г. Мержанова. Черноголовка, 1975. С. 174–188.
6. Самсонов Г.В. Нитриды. Киев: Наук. думка, 1969. 378 с.
7. Мержанов А.Г., Боровинская И.П., Володин Ю.Е. О механизме горения пористых металлических образцов в азоте // Докл. АН СССР. 1972. Т. 206. № 4. С. 905–908.
8. Зиатдинов М.Х. Легирующий материал на основе нитрида кремния и способ его получения: Пат. 2218440 Россия, МКИ С 22 С 33/00.
9. Шатохин И.М., Зиатдинов М.Х., Чирков В.А. Способ производства легирующего материала на основе нитрида кремния: Пат. 2210615 Россия, МКИ С 22 С 33/00.
10. Совершенствование технологии выплавки трансформаторной стали в конвертерном цехе ОАО «ММК» / Сеничев Г.С., Тахаутдинов Р.С., Бодяев Ю. А. и др. // Сталь. 2006. № 3. С. 17–22.
11. Казачков Е.А. Расчеты по теории металлургических процессов. М.: Металлургия, 1988.

УДК 621.746.047:669.054.2

К. Н. Вдовин, В. В. Точилкин, М. В. Семенов, А. Н. Русаков

РАФИНИРОВАНИЕ МЕТАЛЛА В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ

Промежуточный ковш является важным технологическим агрегатом МНЛЗ. Его расположение и конструкция оказывают существенное влияние на качество получаемого металла. Если раньше промежуточный ковш использовался только для распределения потоков стали по ручьям МНЛЗ, усреднения химического состава металла и

поддержания стабильности скорости разливки, то в настоящее время его функции значительно расширились, а одной из основных стала функция удаления неметаллических включений (НВ).

Чтобы обеспечить удаление неметаллических включений в промежуточном ковше, его снабжают специальными гидродинамическими уст-