

8. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: справочник / Под общ. ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 560 с. – (Теплоэнергетика и теплотехника; Кн. 2).
9. Юдаев Б.Н. Теплопередача / Б.Н. Юдаев. – М.: Высшая школа, 1973. – 360 с.

Поступила в редакцию 11.10.2010 Рецензент д-р техн. наук, проф. С.Л. Ярошевский

© Сафьянц С.М., Боев Ю.А., Сафьянц А.С., 2010

УДК 669.046.46

Д.С. Григорьев

ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ КИСЛОРОДА И УГЛЕРОДА В ШИХТЕ НА СОДЕРЖАНИЕ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В МЕТАЛЛИЗОВАННОМ ВОЛЬФРАМСОДЕРЖАЩЕМ ЛЕГИРУЮЩЕМ МАТЕРИАЛЕ

В настоящей работе приведены результаты исследований влияния соотношения кислорода и углерода в шихте на состав металлизированного легирующего материала на основе вольфрама. Предложен состав шихты с оптимальным соотношением кислорода и углерода, который при заданном режиме тепловой обработки, обеспечивает высокое содержание тугоплавких легирующих элементов при высокой степени восстановления и допустимом остаточном содержании углерода. Рекомендованы некоторые виды связующего для брикетирования шихты, обеспечивающие технологичность получения и требуемое качество целевого продукта.

Ключевые слова: вольфрамсодержащий легирующий материал, кислород, углерод, режим обработки, связующее, брикеты

Введение

Разработанные и внедренные технологии производства легирующих материалов на основе молибдена, вольфрама, хрома и других элементов методами порошковой металлургии и получаемые материалы для легирования сталей выгодно отличаются от технологии производства плавящихся ферросплавов на основе тугоплавких и редких металлов ресурсо- и энергосбережения, гибкостью и, что наиболее важно, высокой сквозной эффективностью получения их и использования [1-6]. Целесообразность развития данного направления в металлургии редких и тугоплавких легирующих материалов подтверждается результатами последних работ [7-9].

Постановка задачи

Целью работы было повышение эффективности производства и использования тугоплавких легирующих материалов, а настоящих исследований – разработка состава шихты для восстановления смеси окислов быстрорежущей стали с добавлением шеелитового концентрата с опти-

мальным соотношением кислорода и углерода, выбор и обоснование связующего для компактирования исходных компонентов шихты.

Основная часть

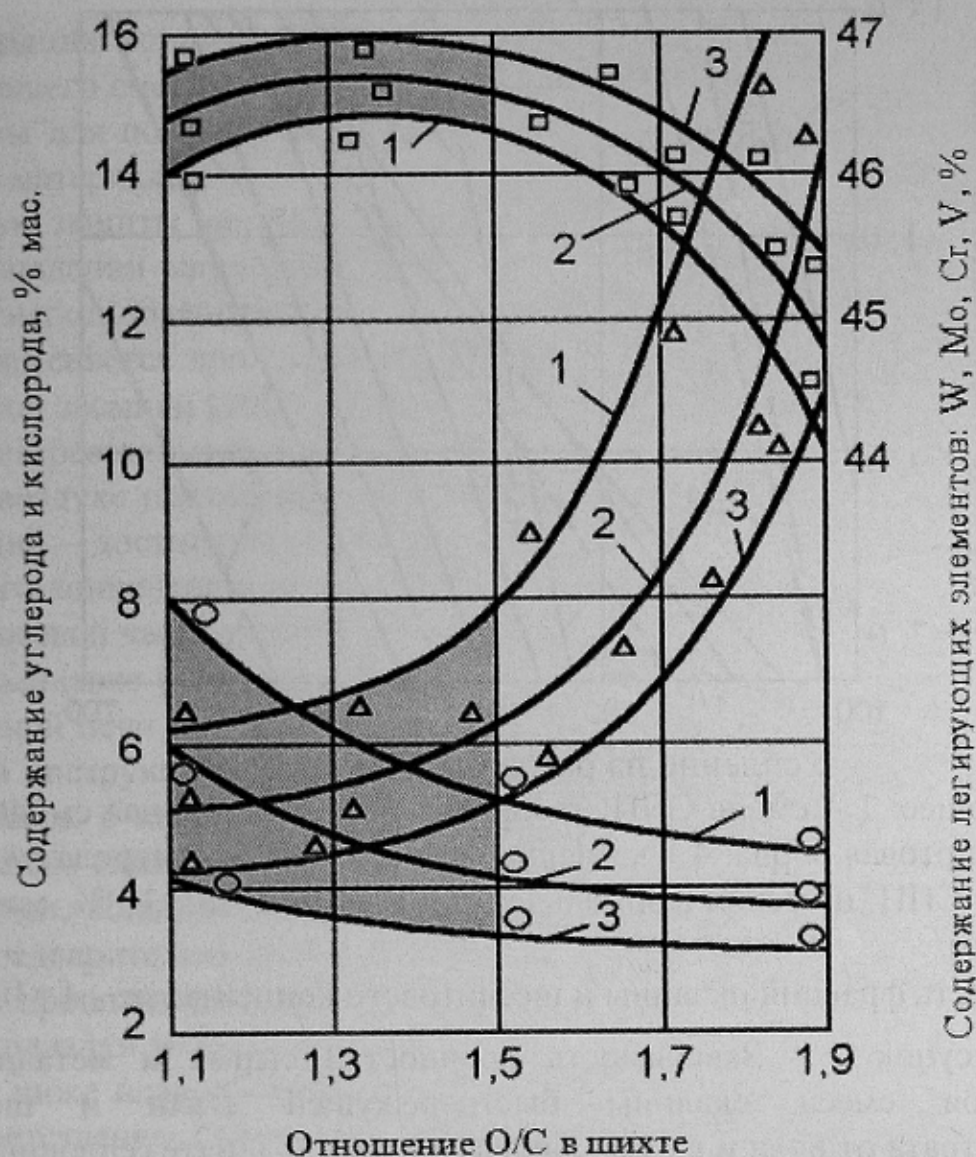
Дальнейшее развитие исследований в экспериментальной части получило направление оптимизации состава шихты, их технологического режима восстановления смеси на основе техногенных отходов и шеелитового концентрата, кинетические кривые этой части опытов приведены на рис.1. Показано, чтобы достичь остаточного содержания углерода в металлизированном продукте (2,5...4,5)% мас. при остаточном содержании кислорода (4,2...6,2)% мас. необходимо, чтобы соотношение $O/C_{\text{акт}}$ находилось в пределах 1,1...1,5. При этом, при восстановлении предложенной шихты при соответствующих технологических параметрах (рис.1) содержание вольфрама в карбидизированном продукте с сопутствующими в окалине легирующими элементами (Cr, V) будет находиться в пределах (46...47)% масс. Такой металлизированный в гетерогенной системе материал может использоваться в качестве легирующей добавки при выплавке быстрорежущей стали, о чем будет сказано ниже.

Известно, что скорость и полнота восстановления металлооксидных соединений в значительной мере зависит от совершенства контакта реагентов [10]. Одним из наиболее распространенных способов улучшения их контакта в порошковой металлургии является компактирование ингредиентов шихты [11].

При получении железной губки или губчатого молибдена (металлизированного молибденового концентрата – КММ) [2] одним из наиболее применяемых и распространенных способов технологических операций является брикетирование шихты. При разработке параметров брикетирования исследователями уделяется большое внимание выбору связующего, которое должно удовлетворять требованиям его технологичности и экономической целесообразности.

Из множества известных видов связующих компонентов шихты в настоящей работе исследованы пять видов связующих веществ и одно их совместное сочетание. Пресс-форма для брикетирования шихты имела ячейки, размером $60 \times 60 \times 80 \text{ м} \times 10^{-2}$ яйцеобразной формы, которые применяются на бандажных прессах.

Результаты прочностных характеристик приведены на рис.2, из которого видно, что наивысшая прочность сырых и металлизированных брикетов достигнута при использовании фенол-формальдегидной смолы (кривые 2, 2'), низшая прочность брикетов установлена при использовании сульфид-спиртовой борды (кривые 3, 3'), промежуточные значения занимают кривые 1, 1', 4, 4', 5, 5' и 6, 6', соответствующие связующим: смоле СПП, каменноугольному пеку и смеси смолы СПП и фенол-формальдегидной смолы.



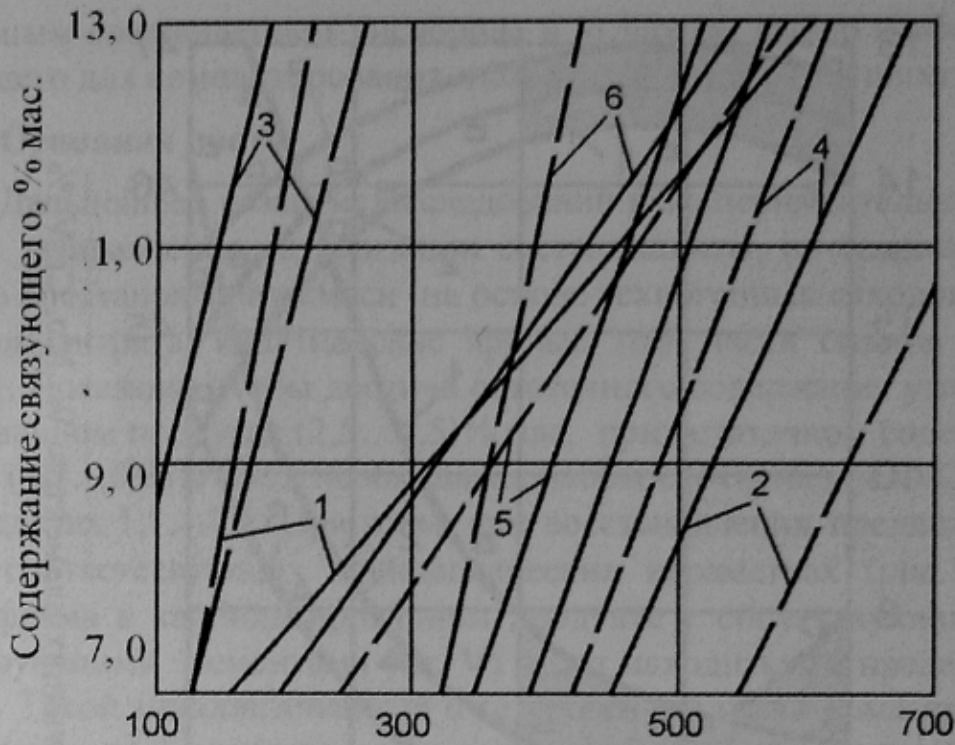
- Δ Δ Δ - остаточное содержание кислорода;
0.....0.....0..... - остаточное содержание углерода;
 \square \square \square - остаточное содержание смеси легирующих элементов:
 W, Cr, V.

Температура восстановления, К: 1 – 1473; 2 – 1523; 3 – 1573;

Продолжительность восстановления – 60 мин.

Углеродистый восстановитель – циклонная пыль углеграфитного производства.

Рисунок 1 - Зависимость остаточных углерода, кислорода и содержания легирующих элементов от соотношения кислорода и углерода в шихте при восстановлении брикетированной смеси окалины стали P18 (P18Ф2) и шеелитового концентрата (69,3 % мас.)



Усиление на раздваивание, кг/брикет

Связующее: 1 – смола СПП; 2 – фенол-формальдегидная смола; 3 – сульфид-спиртовая борда; 4 – каменноугольный пек; 5 – петролатум; 6 – смесь смолы СПП и фенол-формальдегидной смолы (85+15)% мас. соответственно).

Крупность фракций окалины и шеелитового концентрата: $- 4 \times 10^{-3}$ м.

Рисунок 2 - Зависимость прочностей сырых и металлизированных брикетов смеси окалины быстрорежущей стали и шеелитового концентрата от вида и сдержания связующего в шихте (сплошные линии – сырые брикеты (исходная шихта); пунктирные линии – металлизированные брикеты).

Удовлетворительные результаты прочности брикетов достигнуты в случае применения сульфид-спиртовой борды, каменноугольного пека петролатума, однако повышенное содержание серы в них (от 0,5 до 4,5% мас.) ограничивает их использование в качестве связующего, так как при металлизации шихты полностью она переходит в легирующий вольфрам-содержащий материал, который имеет жесткие ограничения по этому виду примеси. Наиболее предпочтительные результаты прочности брикетов, технологичности их изготовления на смесильно-прессовом промышленном оборудовании с паровым обогревом смесителя и бандажным прессом типа СМБ-2000, которые обладают высокой производительностью, получены при использовании в качестве связующего смеси смолы СПП и фенол-формальдегидной смолы (кривая 6). Прочность сырых брикетов колеблется в пределах 150...540, а металлизированных от 320 до 370 кг/брикет. Примеси серы в этих ингредиентах не превышают тысячных долей процента. Промышленные испытания, расчеты и анализ полученных результа-

тов подтвердили экономическую целесообразность использования в качестве связующего смеси смолы СПП и фенол-формальдегидной смолы в составе шихты для получения металлизированного легирующего вольфрамсодержащего материала.

С целью защиты продукта металлизации от влияния печной атмосферы при попадании кислорода воздуха разработан способ герметизации капсулы с использованием теплоизоляционной массы ТП4801-02-86 [12], которая применяется при графитизации обожженных заготовок в качестве углеродистой засыпки [10]. При восстановлении шихты в капсулах в двухкамерной нагревательной печи с последующим охлаждением капсулы на открытом воздухе подтвердили целесообразность предложенного способа герметизации – достигнутая степень восстановления окислы с добавками шеелитового концентрата не ниже 90% , максимальное содержание кислорода в приосевой части капсулы не превысило 5% мас. [6].

При выплавке быстрорежущих сталей в порошковом производстве в индукционной печи емкостью тигля 4000 кг согласно действующей технологической инструкции «ТИ ЦПМ – 1 – 87» предусмотрено введение в качестве добавок в шихту отходов собственного производства до 100 кг/т стали. С целью снижения угара тугоплавких легирующих элементов таких как молибден, вольфрам, ванадий, хром в расплав стали дополнительно вводили предварительно металлизированную окислы в капсулах.

После проплавления завалки шихты для заполнения объема тигля даются две подвалки металлизированной окислы, так как плотность последней в два раза ниже плавленной быстрорежущей стали (3,2 – 4,1) и (7,7 – 7,9) г/см³ соответственно. Общая длительность расплавления нового шихтового материала в индукционной печи на 20% выше чем плавленной обреси и кусковых отходов. При расходе металлизированной окислы (150-320) кг/т стали эта разница практически не сказывается на технико-экономических показателях плавки, так как лимитирующим звеном в технологическом цикле является период диспергирования расплава стали.

Степень сквозного извлечения легирующих элементов из металлизированной смеси окислы быстрорежущей стали с добавками шеелитового концентрата в порошковом производстве быстрорежущей стали составила (в среднем), % мас: вольфрама 94,1, хрома 89,7, ванадия 84,9. Наблюдалось несколько повышенное шлакообразование для переплавного способа получения порошковой быстрорежущей стали, однако, имело допустимые нормы согласно требованию технологической инструкции.

Выводы

Для интенсификации процесса и повышения полноты восстановления смеси окислы стали Р18 и Р18Ф2 с добавками шеелитового концентрата для компактирования оптимального состава отобраны наиболее предпочтительные виды связующего. Учитывая жесткие требования к химиче-

скому составу легирующего материала по сопутствующим вредным примесям, таким как сера, предложено в качестве связующего использовать смесь смолы СПП и фенол-формальдегидной смолы (85+15% мас. соответственно), в количестве (7,0 ... 13,0)% мас. шихты, которое обеспечивает усилия на раздавливание сырых брикетов в пределах 150...540, а металлизированных от 320 до 370 кг/брикет. Эти прочностные характеристики сырых и металлизированных брикетов удовлетворяют требованиям шахтных нагревательных и индукционных печей для осуществления технологии получения губчатых легирующих материалов.

Полученные результаты использования нового легирующего материала в порошковом производстве быстрорежущих сталей, разработанного на основе металлооксидных отходов, подтверждают необходимую его технологичность в сталеплавильном производстве и экономическую целесообразность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Острик П.Н. Металлургия губчатых и порошковых лигатур / П.Н.Острик, М.М.Гасик, В.В.Пирог. - К.: Техника, 1992. - 128 с.
2. Получение металлизированного молибденового концентрата из брикетированной шихты и его использование при выплавке сталей / С.М. Григорьев, П.Н. Острик В.Б.Акименко и др.// Сталь. - 1983. - № 8. - С.71-81.
3. Григорьев С.М. Разработка ресурсосберегающей технологии получения хромсодержащих брикетов для легирования стали / С.М.Григорьев, М.С.Карпунина, А.С. Москаленко // Сталь.- 1999. -№9.- С.32-35.
4. Григорьев С.М. Термодинамические особенности восстановления вольфрама и математическая модель в системе W-O-C применительно к технологии получения губчатого ферровольфрама / С.М. Григорьев, Д.С. Григорьев, М.С.Карпунина //Черные металлы.- 2006. -№2.- С.49-55.
5. Григорьев С.М. Совершенствование способов переработки и повышение степени утилизации окалина быстрорежущих сталей / С.М. Григорьев // Сталь.-1997.-№10.- С.75-78.
6. Григорьев С.М. Разработка технологических параметров получения металлизированных паспортных брикетов для выплавки легированных сталей / С.М.Григорьев, А.Е. Рябенко, М.С.Карпунина // Черная металлургия. -1999. -№9.- С.15-18.
7. Григорьев С.М. Техничко-экономические показатели развития металлургии губчатых и порошковых лигатур на примере металлизированного молибденового концентрата / С.М. Григорьев // Черные металлы.- 2005. -№3.- С.26-29.
8. Пивень А.Н. Эффективность ресурсосбережения при использовании молибденсодержащих материалов / А.Н. Пивень, С.М. Григорьев //Цветные металлы.- 1992. - №11.- С.10-12.
9. Пивень А.Н. Экономическая эффективность утилизации редких металлов из окалина быстрорежущих сталей / А.Н.Пивень, С.М. Григорьев //Цветные металлы.- 1993. -№3.- С.10-11.
10. Железные порошки. Технология, состав, структура, свойства, экономика /В.Б.Акименко, В.Я.Буланов, В.В.Рукин и др. - М.:Наука.-1982.-264с.

11. Развитие бескоксовой металлургии / Н.А.Тулин, В.С.Кудрявцев, А.С.Пчелкин и др. - М.: Металлургия, 1987.-328 с.
12. Искусственный графит / В.С.Островский, Ю.С. Вигрильев, В.И.Костиков и др. - М.: Металлургия, 1986.-272 с.

Поступила в редакцию 07.12.2009

Рецензент д-р техн. наук, проф. А.Н. Смирнов

© Григорьев Д.С., 2010

УДК 669.2/8

С.Г. Егоров, И.Ф. Червоный, А.И. Шульга

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ РАСПЛАВА АЛЮМИНИЯ В КОВШЕ ПРИ ТЕПЛОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

На основе компьютерного моделирования установлено, что при нагревании и охлаждении расплава алюминия в ковше, осуществляется его перемешивание в результате возникновения тепловой конвекции. Рассчитаны параметры зон перемешивания жидкого металла - температура и скорость движения расплава.

Ключевые слова: жидкий алюминий, ковш, тепловое воздействие, перемешивание расплава, характеристики перемешивания

Введение

Для описания гидродинамических явлений, происходящих в металлическом расплаве, используют математические модели, которые базируются на уравнениях Навье-Стокса в приближении Буссинеска, учитывающее изменение плотности расплава в неоднородном температурном поле. Эти уравнения включают в себя: уравнение неразрывности (закон сохранения массы) и уравнение импульса (закон сохранения импульса). Как правило, совместно с уравнениями Навье-Стокса решаются уравнения тепло- и массопереноса [1-3]. Эти законы, записанные в виде дифференциальных уравнений в частных производных, решаются методом конечных элементов с применением стандартных пакетов для компьютерного моделирования движения жидкости (ANSYS, FEMINA, Comsol и др.) или с помощью самостоятельно разрабатываемых программ, реализующих этот метод [3,4,5].

Цель работы

Определить основные зоны гидродинамического перемешивания алюминиевого расплава в ковше при его нагревании и охлаждении на основе математического моделирования.