

Государственным стандартом Украины на ферросиликомарганец (ДСТУ-3548-97) предусмотрено 4 марки с содержанием от 10 до 35% кремния и от 0,05 до 0,6% фосфора, а по ДСТУ-3547-97 – три группы ферромарганца: низкоуглеродистый, среднеуглеродистый и высокоуглеродистый, содержащие 0,5 – 7,0 % С и 0,05 – 0,70 % Р при 65 – 95 % Мп.

Традиционно литейщики используют для раскисления и легирования большинства марок сталей ферросиликомарганец марки МнС17 с содержанием кремния 15,0-20,0 %, фосфора 0,10-0,6 % и марганца 65,0 %; ферромарганец марки ФМн78 с содержанием фосфора 0,05-0,7 % и марганца 75-82 %; ферросилиций марок ФС45 (41-47 % Si; 0,6 % Mn; 0,05 % P; 0,02 %S) и ФС65 (63-68 % Si; 0,4 % Mn; 0,05 % P; 0,02 %S). Однако за рубежом используют марганцевые сплавы с более низким содержанием фосфора, а ферросиликомарганец содержит не более 68 % марганца. Повышенное содержание марганца в отечественном ферросиликомарганце значительно повышает конкурентоспособность сплава на международном рынке, т.к. его расход на 1 т стали значительно ниже.

С целью проведения сравнительной оценки расхода ферросплавов для раскисления и легирования практически любых литейных сталей приняты к рассмотрению ферросплавы: МнС17Р35, ФМн78С2Р70, МнС25Р35, ФС45, ФС65. При этом основной задачей ставилось ограничение общего количества вводимых ферросплавов, обеспечивающих заданный химический состав стали.

Основная задача состоит в выработке рекомендаций по рациональному сортаменту ферросплавов, расширению номенклатуры марганцевых сплавов, используемых для раскисления и легирования сталей.

При определении общего расхода ферросплавов принят средний химический состав литейных сталей и среднее усвоение марганца и кремния независимо от способа и метода раскисления и легирования (в печи или в ковше). Эти допущения позволили значительно сократить количество рассматриваемых вариантов и в то же время не оказали существенного влияния на общие выводы. Расчеты проводили исходя из среднего содержания марганца, кремния, фосфора и углерода по каждой группе марок сталей. В зависимости от выбранной марки литейной стали усвоение марганца составляет 65—92%, а кремния – 65-80%.

Анализ показывает, что во всех случаях использование ферросиликомарганца производства заводов Украины с повышенным содержанием марганца по сравнению с ферросиликомарганцем зарубежного производства позволяет снизить общий расход ферросплавов на 1 т стали.

Анализируя общую ситуацию с использованием массовых марганцевых ферросплавов в сталеплавильном производстве и состоянии их выплавки, необходимо отметить следующее:

Замена процесса раскисления ферромарганцем и ферросилицием на процесс раскисления ферросиликомарганцем улучшает как стабильность химического состава литейной стали по кремнию, так и ее механические свойства.

Наиболее целесообразно, а в некоторых случаях просто необходимо, особенно для низкоуглеродистых сталей типа 08Х14Н7МЛ, 08Г2ДНФЛ, 07Х17Н16ТЛ замена высокоуглеродистого ферромарганца на ферросиликомарганец в сочетании с ферросилицием марки ФС45. Применение высокоуглеродистого ферромарганца и ферросилиция марки ФС65 приводит к нестабильному составу стали по кремнию ввиду сегрегации кремния в ферросилиции марок ФС65 и ФС75 при его разливке. Для низкоуглеродистых сталей это наиболее актуально, т.к. во многих случаях ферросиликомарганец может заменить среднеуглеродистый ферромарганец.

Высококремнистый ферросиликомарганец марки МнС25 желателно производить с содержанием фосфора не более 0,25%, что позволит его использовать без всяких ограничений при выплавке большинства литейных сталей электропечного сортамента.

Практически во всех вариантах использование ферросилико-марганца марок МнС17 и МнС25 приводит к снижению общего количества вводимых ферросплавов, что позволит уменьшить перегрев стали в печи, снизить угар и повысить выход годного.

Для отдельных групп марок сталей целесообразно использовать комплексные сплавы на основе марганца с другими легирующими элементами.

УДК 669.187.526:51.001.57

А.С. Гладков, Н.И. Левицкий, Т.В. Лапушук, Е.А. Матвиец, М.Ю. Смирнов
Физико-технологический институт металлов и сплавов
НАН Украины, Киев

РАФИНИРОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ГАРНИССАЖНОЙ ПЛАВКИ

В современной металлургии электронно-лучевая плавка (ЭЛП) является эффективным способом рафинирования металлов и сплавов [1]. Ранее ряд исследований, проведенных для определения влияния электронно-лучевого нагрева на степень очистки металлургического кремния, показал, что ЭЛП обеспечивает его эффективное рафинирование от газов и примесей с упругостью пара выше, чем у кремния. Удаление таких элементов, как титан и железо, из кремния при ЭЛП возможно при обеспечении направленной кри-

сталлизации получаемых слитков и отливок. Удаление бора, который определяет основные электрические параметры кремния, при электронно-лучевом нагреве не происходит [2-4]. Кроме того в работах [2, 3] отмечено, что рафинирование кремния при ЭЛП с использованием в качестве плавильной емкости тигля нецелесообразно, так как даже при очень низких мощностях нагрева в пределах от 2,6 до 6,5 кВт и времени плавки 5-15 мин потери на испарение кремния превышают 10 %.

В ФТИМС НАН Украины проведены эксперименты по рафинированию металлургического кремния методом электронно-лучевой гарнисажной (тигельной) плавки (ЭЛПП). Основное отличие от проведенных ранее исследований заключается в дополнительном перемешивании ванны расплава кремния при электронно-лучевом нагреве.

Плавки проводили в кварцевом тигле. Кремний – Кр0. Мощность электронно-лучевого нагрева при плавке кремния составляла 13,5-15 кВт, времени выдержки расплава 20-25 мин. При таком проведении процесса потери на испарение не превысили 10 %. Учитывая тот факт, что мощность нагрева и время плавки более чем в два раза превышали аналогичные параметры, указанные в работах [2, 3], можно утверждать, что применение электромагнитного перемешивания при плавке и рафинировании металлургического кремния в значительной степени сокращает потери испарением.

Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности дальнейших исследований по применению ЭЛПП для получения чистого кремния.

Список литературы

1. Патон Б.Е. Электронно-лучевая плавка / Б.Е. Патон, Н.П. Тригуб, Д.А. Козлитин и др. – К.: Наукова думка, 1997. – 265 с.
2. T. Ikeda The Application of Electron Beam Technique for the Purification of Silicon for Photovoltaic Material / N. Mori, T. Shimada, H. Hirashima, S. Lee Cockcroft, M. Maeda // Proceeding of the Conference. Electron Beam Melting and Refining. State of the Art. – 1998. – P. 101-109.
3. Blum M. EBCHR for Cleaning and Controlled Solidification of Solar Grade Silicon / A. Choudhury, U. Biebricher, F. Hugo, D. Sarti, B. Schaub, H. Scholz // Proceeding of the Conference. Electron Beam Melting and Refining. State of the Art. – 1998. – P. 126-135.
4. Березос В.А. Рафинирование кремния способом электронно-лучевой плавки / В.А. Березос, А.Г. Ерохин // Современная электрометаллургия. – 2009. – №3. – С. 29-31.

УДК 669.71:532.694:539.216

С. В. Гнилокурченко

*Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины,
Киев*

МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕНОАЛЮМИНИЯ ИЗ РАСПЛАВА

Пеноалюминий является перспективным материалом для многих отраслей промышленности и народного хозяйства благодаря малому удельному весу, высокой способности поглощать различные виды энергии, хорошей обрабатываемости, экологичности. Ограниченные объемы его производства в настоящее время во многом предопределяются экономическими факторами – дороговизной применяемого оборудования и реагентов для вспенивания.

Способы получения этого материала из порошка исходного матричного металла и реагента-вспенивателя включают ряд технологических стадий - смешивание порошков, их компактирование, экструзию, порезку заготовок, нагрев и вспенивание, что значительно удорожает конечный продукт [1].

Наименее затратными являются методы производства пеноалюминия из расплава, первые из которых были запатентованы еще в 50-х годах прошлого века [2]. В их основе лежит обработка жидкого металла вспенивающим реагентом (гидрид титана, циркония), разлагающимся непосредственно в расплаве с выделением газа, и последующим быстрым охлаждением двухфазной газометаллической смеси. Такой метод получил широкое развитие в Японии под маркой «Альпорас» [3]. Проблема таких способов – трудность контроля интенсивного газовыделения из реагентов, что приводит к формированию больших пор, неравномерному их распределению по объему, и как следствие, к ухудшению механических свойств материала.

Разработаны различные подходы для частичного решения этих проблем. Так, создание поверхностных слоев на частичках реагента замедляет их разложение в расплаве (FORMGRIP-процесс [4]). Разработка новых экономических реагентов с повышенными температурами разложения (CaCO_3 [5]) позволило в некоторых пределах контролировать процесс вспенивания.

Иной подход к образованию пузырьков в расплаве и управлению их ростом вследствие протекания газозвтектических реакций и контролируемого затвердевания («Газар») предложен украинскими учеными [6]. Он получил широкое развитие для многих сплавов в Японии под названием «Лотус» [7].

Частичное распространение получили методы прямой инъекции газов в расплав и получение вспененного слоя на поверхности (Канада, Норвегия - «Алкан» [8]).

Наряду с поиском путей удешевления получения пенометаллов важной задачей является обеспечение стабилизации жидкой пены [9].