

## РАЗРАБОТКА НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ РАСКИСЛЕНИЯ И ЛЕГИРОВАНИЯ СТАЛИ С УЧЕТОМ ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЪЕМЕ МЕТАЛЛА ЛОКАЛЬНЫХ ЗОН

Г.А. Исеев<sup>1</sup>, В.А. Кудрин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ), г. Москва;

<sup>2</sup> Московский государственный вечерний металлургический институт, г. Москва

Разработана и успешно испытана в производственных условиях технология экономного расходования раскислителей и легирующих добавок при использовании композитных материалов, скомпонованных таким образом, что растворение добавок происходит в локальной зоне с пониженным содержанием кислорода. Вводимая в жидкий металл добавка блокируется алюминием. Использование при раскислении и легировании металла композиционных материалов показало достаточно высокую стабильность и степень усвоения вводимых реагентов. Средняя степень усвоения титана составила 81,3 %, ванадия – 94,5 %, марганца – 78,0 %. Стабильно высокая степень усвоения легирующих элементов позволяет организовать ввод лигатуры в расчете на нижний марочный предел содержания элементов в стали. Такая технология сравнительно просто реализуема и эффективна в электросталеплавильных или литейных цехах, где имеются дуговые сталеплавильные печи малой емкости. Экономические показатели использования композиционных материалов повышаются при использовании алюминийсодержащих отходов и экономии дорогостоящего алюминия для раскисления. Технология успешно испытана на заводах: «Красный Октябрь» (Волгоград), «Серп и Молот» (Москва), «Стальное литье» (Пловдив, Болгария).

*Ключевые слова:* ферросплав; композиционный материал; раскисление; легирование; ресурсосбережение.

Во многих случаях оценку условий протекания тех или иных сталеплавильных процессов (и оценку результатов протекания этих процессов) рассматривают после окончания протекания этих процессов, т. е. тогда, когда система приведена (или пришла) в равновесие. Между тем, в реальных условиях в определенные моменты рассматриваемые системы далеки от равновесных условий. Эти моменты могут быть весьма кратковременными, но учитывать их наличие и пытаться использовать в практическом плане полезно.

При описаниях таких моментов используется различная терминология: «локальная зона», «реакционная зона», «зона реакции», «активная зона» и т. п.

Приведем несколько примеров.

*Пример первый.* В конце 40-х годов прошлого века на многих металлургических заводах мира начались энергичные исследования возможных методов интенсификации работы сталеплавильных агрегатов с помощью прямого воздействия струй газообразного кислорода. В нашей стране эти эксперименты проводили в мартеновском цехе Московского завода «Серп и молот». Ряд отечественных специалистов высказывали опасения, что применение кислорода для продувки ванны приведет к получению переокисленной стали. Результаты специально проведенных исследований, в ходе которых осуществлялся непрерывный отбор проб металла в процессе его продувки кислородом в 70-т мартеновской печи, показали, что действительно имеет место заметное местное, локальное переокисление металла, но эта переокисленность

имеет локальный и временный характер и через 1–2 мин содержание кислорода во всем объеме ванны снижается до обычного наблюдаемого [1].

*Пример второй.* Авторы исследований процессов прямого легирования стали марганцем [2] обратили внимание на протекающие параллельно процессы десульфурации, между тем как, согласно литературным данным, при концентрациях марганца, соответствующих рядовым маркам стали, влияние марганца на содержание серы в металле незначительно. Последнее объясняется тем, что оценку десульфурующей способности марганца обычно проводят для случая, когда система металл–шлак приведена в равновесие. На практике при введении реагентов (в том числе алюминия) в металл во время выпуска в активной зоне из-за высокой концентрации алюминия и, соответственно, снижения концентрации кислорода резко возрастает адсорбционная активность серы.

В работе [2] приведен расчет для случая прямого легирования стали марганцем при использовании марганцевого агломерата (350-т и 10-т разливочные ковши). При начальной концентрации серы в углеродистом полупродукте 0,05 % и ее поверхностной концентрации 1 % эффективность удаления достаточна для удаления половины содержания серы во время выпуска металла в ковш.

*Пример третий.* В работе [3] представлены результаты ввода в состав кальцийсодержащей порошковой проволоки материалов, содержащих кремний. Реакция образования соединений кальция со свободным кремнием происходит с поглощением тепла, что снижает температуру в зоне

реакции. В расчетах приняли величину локального объема металла 10 т; для случая 120-т ковша снижение температуры в зоне реакции составило 10,2 °С. Опыты на БМЗ, ЕМЗ, ММЗ, Алч. МК показали, что усвоение кальция заметно повысилось (при использовании СК40 вместо СК30 на 15–20 %), расход проволоки сократился.

*Пример четвертый.* В процессе разработки технологий, обеспечивающих глубокую десульфурацию стали продувкой металла в ковше порошкообразной смесью, содержащей алюминий, резко увеличивается степень и полнота десульфурации в результате образования в зоне вдувания порошков локальной зоны более раскисленного металла [4, 5].

В наших исследованиях, подробно рассмотренных ниже, концепция искусственного создания временных локальных зон была использована для разработки эффективных технологий раскисления и легирования стали.

При этом ставилась триединая задача:

1. Уменьшить угар ферросплавов и лигатуры.
2. Обеспечить весовую стабильность показателей угара и тем самым предоставить возможность ввода в сталь реагентов в меньшем количестве (в расчете на нижний предел марочного состава).

3. Использовать в составе композитов отходы.

В процессе разработки технологии глубокой десульфурации стали продувкой металла в ковше порошкообразными материалами было обращено внимание на возможность образования локальных зон, условия протекания реакций в которых отличаются от условий их протекания в объеме расплава и о целесообразности учёта этого фактора [6–9]. Основой для исследуемых составов служила порошкообразная смесь 85 % CaO – 15 % CaFe<sub>2</sub>, в которую добавляли в качестве активных реагентов силикокальций и алюминий. Было отмечено, что дополнительно введенный в состав смеси алюминий резко увеличивает степень и полноту десульфурации. Условное описание процесса может быть представлено следующим образом.

Растворимый в стали или испаряющийся в виде пузырей кальций может вступать в реакцию как с кислородом, так и с серой по реакциям:



Константа равновесия соответственно:

$$K_O = \frac{a_{CaO}}{P_{Ca[O]}}, \quad P'_{Ca} = K_{Ca[O]}; \quad (3)$$

$$K_S = \frac{a_{CaO}}{P_{Ca[S]}}, \quad P''_{Ca} = K_{Ca[S]}. \quad (4)$$

На основании литературных данных, приняли:

$$\Delta G_{(1)}^0 = -663\,833 + 192,08 T; \quad (5)$$

$$\Delta G_{(2)}^0 = -570\,614 + 171,29 T. \quad (6)$$

Принимая в зоне реакций  $a_{CaO}$  и  $a_{CaS}$  равными 1

и логарифмируя обе части уравнения с учетом (5) и (6), получим:

$$\lg \frac{a_{[S]}}{a_{[O]}} = \lg \frac{K_O}{K_S} = \frac{1847}{T} - 1,09. \quad (7)$$

Соотношение (7) позволяет определить уровень, до которого может быть снижена активность (или концентрация) серы в расплавленной стали в зависимости от активности кислорода и температуры. Результат в принципе не изменится, если рассмотреть реакцию серы и кислорода с растворенным в расплаве кальцием вместо газообразного кальция.

Сравнение расчетных с фактически достигнутыми в процессе проводимых экспериментов концентрациями серы показало, что последние на 0,004–0,008 % ниже, чем расчетные. Несоответствие расчетных и определенных экспериментально соотношений кислорода и серы может быть объяснено тем, что при продувке металла в ковше смесью, содержащей алюминий, существует заметная неоднородность распределения кислорода по объёму металла в ковше, приводящая к образованию локальных зон.

Для определения рационального расхода алюминия в процессе десульфурации была проведена серия опытных плавов с целью выявления его роли как регулятора окисленности металла. Принимаем, что при продувке металла кальцийсодержащей смесью пузыри испаряющегося кальция будут всплывать совместно с пузырями несущего газа (аргона) возле фурмы. В этой зоне будет происходить протекание реакций раскисления и десульфурации кальция.

Поступление кислорода в металл происходит из шлаковой фазы и футеровки в основном через контактирующую с ними зону. При продувке металла в ковше сложнокомпозиционной смесью наблюдаемые концентрации кислорода определяются соотношением скоростей его поступления и расходования на окисление вводимых реагентов, что приводит к существенной неравномерности распределения кислорода, что в свою очередь приводит к неравномерному распределению серы по радиусу ковша. Это было выявлено, когда были отобраны специальные пробы. Пробы отбирали с одного уровня ковша. Содержание серы возле фурмы оказалось ниже, чем у стенки ковша на 0,003–0,008 %. Был сделан вывод, что при продувке металла смесью, включающей алюминий, в реакционной зоне создается локальная область глубокого раскисленного металла. При этом в объеме металла, удаленного от реакционной зоны, содержание кислорода может быть существенно выше. Масса вдуваемого в составе смеси алюминия должна быть достаточной не только для глубокого раскисления металла в зоне продувки, но и для «блокировки» реакционной зоны с целью предотвращения диффузии кислорода из объема металла в зону реакции десульфурации.

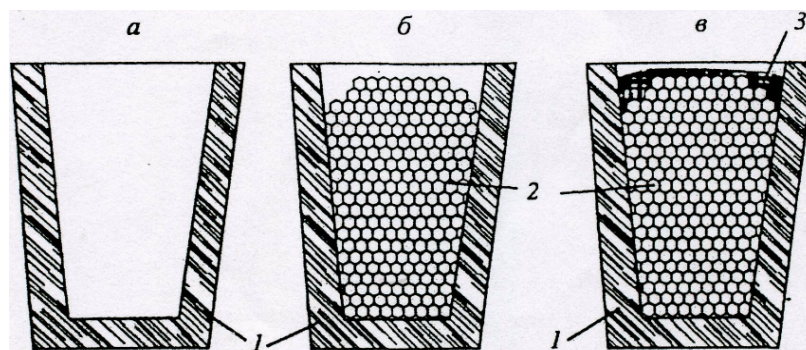


Рис. 1. Схема изготовления рафинировочной добавки – блок типа SiCa + Al: а, б, в – этапы изготовления; 1 – стакан из алюминия (или его сплава); 2 – силикокальций; 3 – заливка вторым слоем

Размеры зоны взаимодействия вводимого в составе смеси алюминия с кислородом будут определяться соотношением скоростей нагрева и плавления его частиц со скоростью циркуляции ванны (в процессе движения частица алюминия растворяется в металле). Проведенные расчеты показали, что полное время перехода частицы алюминия радиусом 0,1 и 0,3 мм в расплавленное состояние составляет  $7,2 \cdot 10^{-3}$  и  $13,8 \cdot 10^{-3}$  с соответственно.

Перенос алюминия в объеме металла, удаленного от зон расплавления (растворения), будет осуществляться при циркуляции металла в процессе продувки. Скорость циркуляции, по литературным данным, может быть принята равной  $\sim 0,09$  м/с. Сравнение скорости циркуляции с временем растворения алюминия показывает, что частица после внедрения в металл успевает сместиться лишь на 0,6–1,3 мм, т. е. процессы нагрева, расплавления и растворения завершаются практически в зоне продувки. Масса металла в процессе проведения экспериментов составляла 20 т<sup>1</sup>.

Объем зоны возле фурмы в зависимости от интенсивности продувки составляет 15–20 %. Следовательно, масса металла, находящегося в этой зоне, составляла 2,5–3,8 т. Вдувание смесей с содержанием в них алюминия 0,2–0,9 г/т обеспечивает в этой зоне наличие глубоко раскисленного металла, так как фактическое содержание алюминия в зоне может достигнуть значений 0,1–0,6 %. В результате обеспечение таким образом «блокирования» зоны реакции десульфурации с помощью введения в состав смеси алюминия позволяет заметно повысить степень использования кальция для десульфурации стали.

Анализ результатов эксперимента показывает, что использование композиционного материала, состоящего по крайней мере из двух реагентов, отличающихся степенью активности по отношению к определенным компонентам расплава (сере, кислороду и т. п.), позволяет в какой-то момент операции (плавки, разливки) создавать локальные

зоны с условиями, отличающимися от таковых в общей массе металла.

Практическая реализация теоретических положений о локальных зонах выразилась в разработке целого ряда композиционных материалов.

Как организовать технологию искусственного создания в объеме металла локальной зоны?

В нашем случае это достигается тем, что в сложнкомпонентную порошкообразную смесь дополнительно вводят измельченные алюминиевые отходы или на поверхность куска лигатуры (ферросплава), содержащей легирующий элемент, наносится слой алюминийсодержащего материала таким образом, чтобы растворение легирующего элемента происходило в локальной зоне с пониженным содержанием кислорода. При таком способе введения в расплав лигатуры первоначально взаимодействует с кислородом алюминий, содержащийся в порошкообразной смеси или в оболочке, значительно понижая в зоне растворения легирующего элемента содержание кислорода, блокированной растворившимся алюминием от поступления новой порции кислорода.

Практическая реализация сказанного выразилась в разработке целого ряда композиционных материалов на основе титана, силикокальция, ванадия, марганца, силикомарганца, циркония, бор-алюминия, ферробора, бор-никель-алюминия.

В связи с этим в качестве одного из вариантов предложена и успешно опробована в промышленных условиях технология ввода реагентов в глубь металла в виде композиционных блоков, состоящих из рафинирующих или легирующих материалов, заключенных в оболочку из алюминия или его сплавов. Технология изготовления таких блоков на примере силикокальций-алюминий представлена на рис. 1.

Получение и использование таких блоков позволяет регулировать массу вносимого в расплав алюминия за счет изменения толщины стенки стакана и количества легирующего или рафинирующего материала.

В зависимости от назначения рафинирующей добавки вместо силикокальция в стакан (на практи-

<sup>1</sup> Исследование проводилось на металлургическом заводе «Красный Октябрь» (Волгоград).

ке слово «стакан» было заменено на слово «блок») вводится лигатура.

Необходимо особо подчеркнуть, что технология легирования с применением композиционных блоков позволяет эффективно использовать сплавы легирующих элементов, пылевидные и немобильные отходы (стружку, обрезь и т. п.) высокоактивных элементов, таких как титан, ванадий, бор, цирконий и др. Использование отходов алюминийсодержащих материалов, отходов лигатур (ферросплавов) дает возможность, кроме всего прочего, утилизировать отходы дорогостоящих материалов.

Размер и масса литого композиционного блока с двойной (и одинарной) оболочкой из алюминийсодержащих материалов может изменяться в широких пределах (см. таблицу) [10].

В процессе отработки технологии изготовления композиционных блоков была также опробована технология получения прессованных брикетов из алюминиевой стружки и различных наполнителей, например, порошкообразного силикокальция (СК-30) или титановых отходов. При этом наполнитель помещали в пресс-форму на подложку из алюминиевой стружки и осуществляли процесс прессования. Усилие прессования изменялось от 4 до 20 т.

Недостатком данного брикета являлась низкая прочность. Для устранения этого в дальнейшем прессование осуществляли в полиэтиленовой пленке и таким образом формировали дополнительную оболочку. Использование таких брикетов дало существенный экономический эффект, так как создание плотной дополнительной полиэтиленовой оболочки позволило без особых дополнительных затрат использовать мелкие и пылевидные отходы. Это позволяет утилизировать мелкие и пылевидные отходы, которые имеют очень малую стоимость и практически не используются.

В дальнейшем была разработана технология нанесения алюминийсодержащей пленки на поверхность легирующего материала методом погружения в жидкий расплав и технология ее применения. Такие композиционные офлюсованные материалы получены на основе титана, ферромар-

ганца, ферросилиция, ванадия, марганца, силико-марганца, циркония, ферробора.

В лабораторных и промышленных условиях опробовали практически все вышеперечисленные материалы. Для получения расплава использовали также алюминийсодержащие отходы.

В качестве примера использования вариантов разработанных технологий приведем данные из опыта электросталеплавильного цеха (ЭСЦ) Московского завода «Серп и молот» [11].

В 90-е годы прошлого века, в период острой нехватки качественных ферросплавов, в ЭСЦ завода «Серп и молот» было (вынужденно) организовано собственное производство ферротитана.

В качестве плавильного агрегата использовали открытую индукционную печь емкостью 1 т. Шихтовые материалы состояли из стального низкоуглеродистого лома в виде кусков, прутков до 120 мм, а также высечки, стружки или брикетов массой не более 30 кг, отходов литейного производства ВТ-1, ВТ-0 или ВТ-2, титанового лома и титановой губки в виде кусков, различных деталей, брикетов или стружки.

В индукционной печи вначале расплавляли небольшое количество металла, затем наводили жидкоподвижный шлак и загружали остальную шихту. Соотношение массы стального и титанового лома определяли исходя из оптимального содержания титана в ферросплаве. Пробы отбирали по расплавлению первой порции металла (30 кг), а затем по получении химического анализа загружали отходы, состав которых определяли заранее. Выход годного после освоения технологии составлял 95 %. Для обеспечения нормального выпуска и разливки металла температуру на выпуске повышали на 80–120 °С по сравнению с температурой плавления ферротитана. Состав получаемого сплава был следующим, %:

Ti 68–75; Al 4–5; C 0,2–0,4; P 0,03–0,05; S 0,03–0,05; Cu 0,2–0,4; V 0,6–3; Mo 0,6–2,5; Zn 0,6–2,0; Sn 0,1–0,15; Mn < 0,8; Cr < 0,8.

После полного остывания получаемый слиток извлекали из изложницы, дробили на куски заданного размера и отправляли на индукционную печь ИСТ-06 для нанесения алюминийсодержащего покрытия.

Плотность использованных материалов и изготовленных блоков

Материал	Плотность материала, г/см <sup>3</sup>	Плотность блока, г/см <sup>3</sup>
Марганец	7,3	5,6–6,4
Ферромарганец (отходы)	Насыпной вес 5,0	4,05–4,65
Ванадий	6,11	5,4–5,73
Феррованадий	6,7–7,0	5,5–6,2
Цирконий	6,50	5,43–5,91
Титан	4,54	4,0–4,38
Ферробор	5,6–5,8	4,45–5,0
Феррониобий	6,75–7,9	5,71–6,78
Кальций	1,55	1,9–2,7

Полученные таким образом композиционные металлы на основе ферротитан-алюминия использовались при выплавке коррозионно-стойкой стали (08X17T, 17X18H10T, 08X18H10T и др.).

Обычно степень усвоения титана в цехе составляла 50–60 % при температуре на выпуске стали 1650–1670 °С, а при более низкой температуре – до 75 %.

При использовании композиционного материала, полученного из отходов, средняя степень усвоения при температуре на выпуске <1650 °С возросла до 81,3 % (в пределах 77,1–89,5 %).

Кроме того, использование композиционного материала при его стабильном усвоении позволило работать на нижнем марочном пределе, что дало возможность снижать расход ферротитана с 15,0–15,3 до 12,2–12,7 кг/т.

Для улучшения экономических успешно опробовали также возможность использования для нанесения на ферросплав защитной пленки из алюминиевых отходов, в частности, силуминов.

Следует отметить, что из-за низкой температуры плавления наружной защитной оболочки эти материалы можно использовать только при выпуске металла из печи в ковш. Обычно присадку легирующих проводили после наполнения ковша на 1/3 высоты.

Технология плавки коррозионно-стойкой стали и стали ряда других марок включает ввод в металл одновременно и титана, и алюминия, поэтому провели исследования по отработке таких режимов изготовления композиционных сплавов, которые обеспечивали бы получение нужного соотношения масс Ti и Al. На рис. 2 представлена расчетная зависимость массы наносимого на поверхность алюминия от массы куска ферротитана.

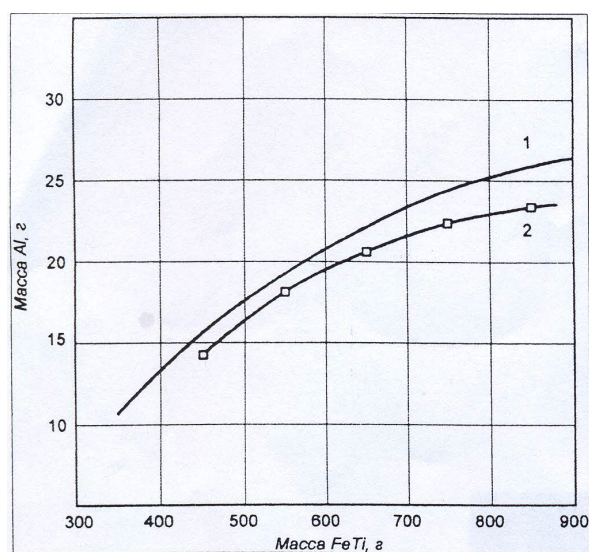


Рис. 2. Зависимость массы наносимого на поверхность алюминия от массы куска ферротитана: 1 – расчетные данные; 2 – фактические данные

Эта зависимость получена при допущении, что куски имеют сферическую форму и толщина пленки постоянна по всей поверхности. С ростом массы куска FeTi увеличивается количество вносимого в металл алюминия. Такая зависимость имеет нелинейный характер, и при увеличении массы куска FeTi увеличение массы вносимого Al замедляется. Представленные на рисунке фактические данные хорошо согласуются с расчетными.

Особенность использования композиционных материалов – снижение количества алюминия, присаживаемого в ковш для окончательного раскисления, что связано с наличием алюминия в защитной оболочке. Эта величина зависит от массы используемого материала. При необходимости соотношение титана и алюминия можно регулировать в широких пределах путем изменения толщины алюминийсодержащей пленки при получении материала.

Средняя масса алюминия в оболочке при проведении исследования составляла 18 кг на 95 кг ферросплава.

При использовании композиционного материала заметно снижается разброс величин угара ферросплавов, что особенно важно в случаях требований точного попадания в анализ.

В качестве примера стабильности усвоения композиционного материала приведены данные для одной из плавок стали марки P6M5.

Химический состав стали P6M5, %: C 0,8–0,88; Cr 3,8–4,4; W 5,5–6,5; V 1,7–2,1; Mn < 0,4; Si < 0,5; Ni < 0,4; S < 0,03; P < 0,03. Содержание ванадия перед выпуском составило 1,25 %. Расчет проводили на получение в готовой стали 1,84 % V. Исходя из этого, в ковш на выпуск ввели 82 кг 75%-ного феррованадия в алюминиевой оболочке. По данным сдаточного контроля, в готовой стали содержание ванадия точно соответствовало расчетному значению, т. е. 1,84 %.

Опыт, накопленный в ЭСПЦ завода [12], позволяет заключить, что использование при раскислении и легировании металла композиционных материалов показало достаточно высокую стабильность и степень усвоения вводимых реагентов. Средняя степень усвоения титана составила 81,3 %; ванадия – 94,5 %; марганца – 78,0 %. Стабильно высокая степень усвоения легирующих элементов позволяет организовать ввод лигатуры в расчете на нижний марочный предел содержания элементов в стали. Такая технология сравнительно просто реализуема и эффективна в электросталеплавильных или литейных цехах, где имеются ДСП малой емкости.

Экономические показатели использования композиционных материалов повышаются при использовании алюминийсодержащих отходов и экономии дорогостоящего алюминия для раскисления.

Использование вторичного алюминия и алюминийсодержащих отходов может вызвать опасения внесения в сталь заметного количества примесей цветных металлов. Эти опасения неосновательны. Следует, однако, принять во внимание то обстоятельство, что масса вводимого в сталь алюминия обычно невелика. Так, если мы вводим в сталь алюминий из расчета 1 кг алюминия на 1 т жидкой стали (т. е. 0,1 % от массы стали), то при содержании в алюминии (или алюминийсодержащем отходе) даже 5 % Cu (15 г в 1 кг алюминия) в сталь будет введено всего 0,0015 % Cu.

В заключение необходимо отметить, что практически все варианты разработанных технологий легирования и рафинирования стали прошли промышленную апробацию на металлургических предприятиях:

- технология рафинирования стали от серы и неметаллических включений продувкой в ковше порошкообразными материалами на заводе «Красный Октябрь» (Волгоград). Основные положения технологии внесены в ТУ на выплавку высокопрочных марок сталей;

- технология рафинирования и легирования стали введением композиционных материалов в виде блоков на заводе «Стальное литье» (Пловдив, Болгария). Утверждена ведомственная и заводская инструкция на выплавку специальных сталей;

- на заводе «Серп и молот» прошли промышленное опробование практически все разработанные композиционные материалы.

Материалы по результатам проведенных исследований неоднократно публиковались на международных конференциях. Так, в частности, на 4-й международной выставке-форуме WASMA-2007 представленные разработки получили Диплом I-й и Диплом II-й степени.

Представлены соображения о необходимости стандартизации полученных новых материалов [13].

### Литература

1. Кудрин, В.А. Окисленность металла при продувке мартеновской ванны кислородом / В.А. Кудрин // Применение кислорода в сталеплавильном производстве. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – С. 80–92.
2. О возможности десульфурации стали марганцем в процессе прямого легирования / А.Я. Наконечный, В.Н. Урцев, Р.В. Синяков и др. // Сталь. – 2009. – № 7. – С. 16–17
3. Материалы для прямого легирования стали марганцем / А.Я. Наконечный, В.Н. Урцев, Р.В. Си-

няков и др. // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2009. – № 10. – С. 10–19.

4. Совершенствование технологии внепечной обработки стали силикокальцием на ОАО «Уральская сталь» / Д.А. Дюдкин, В.В. Кириленко, М.С. Кузнецов, А.И. Потапов // Металл и литье Украины. – 2009. – № 1–2. – С. 48–51.

5. Обработка конструкционной стали порошкообразными материалами в ковше / Г.А. Исаев, В.А. Кудрин, Н.А. Смирнов и др. // Сталь. – 1986. – № 2. – С. 36–38.

6. Исаев, Г.А. Условия протекания реакции рафинирования и легирования стали при введении реагентов в глубь стали / Г.А. Исаев, В.А. Кудрин // Фундаментальные исследования физикохимии металлургических расплавов. – М.: ИКЦ Академкнига, 2002. – С. 341–354.

7. Процессы блокирования алюминием реакционной зоны при вдувании в металл порошкообразных реагентов / Г.А. Исаев, В.А. Кудрин, Н.А. Смирнов, И.А. Магидсон // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2002. – № 9. – С. 17–19.

8. Кудрин, В.А. Разработка теории и технологии рафинирования металлургических расплавов с использованием композиционных материалов / В.А. Кудрин, Г.А. Исаев // Труды 3-го конгресса сталеплавильщиков. – М.: Черметинформация, 1996. – С. 279–281.

9. Исаев, Г.А. Разработка и использование композиционных материалов / Г.А. Исаев, В.А. Кудрин // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1997. – № 11. – С. 18–21.

10. Исаев, Г.А. Раскислители и легирующие добавки. Возможность экономии при производстве стали / Г.А. Исаев, В.А. Кудрин, В.А. Шишимиров // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2012. – № 6. – С. 41–50.

11. Опыт использования в литейных и сталелитейных цехах новых композиционных материалов для легирования стали в ДСП / Г.А. Исаев, В.А. Кудрин, В.И. Савченко, Е.Б. Куликов // Электротеплометаллургия. – 2010. – № 11. – С. 8–11.

12. Переработка металлосодержащих отходов с использованием высокоэффективного оборудования. / Г.А. Исаев, В.А. Кудрин, В.И. Савченко и др. // Труды 4-й международной выставки «Рециклинг, переработка отходов и чистые технологии». – М., 2007. – С. 10–13.

13. Исаев, Г.А. Необходимость разработки нормативных документов на новые композиционные материалы, используемые в металлургии / Г.А. Исаев // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2013. – № 10. – С. 12–15.

**Исаев Геннадий Александрович**, канд. техн. наук, доцент кафедры технологии и оборудования металлургических процессов, Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ), г. Москва; isaev1946@mail.ru.

**Кудрин Виктор Александрович**, д-р техн. наук, профессор, Московский государственный вечерний металлургический институт, г. Москва; annakudrina@yandex.ru.

*Поступила в редакцию 23 апреля 2015 г.*

---

### DEVELOPMENT OF NEW TECHNOLOGIES OF STEEL REFINING AND ALLOYING WITH ACCOUNT FOR LOCAL ZONES FORMING IN THE METAL

**G.A. Isaev**, Moscow State University of Mechanical Engineering (MAMI), Moscow, Russian Federation, isaev1946@mail.ru,

**V.A. Kudrin**, Moscow State Evening Metallurgical Institute, Moscow, Russian Federation, annakudrina@yandex.ru

A technology of economical consumption of deoxidants and alloy additives is developed and successfully tested in industrial conditions. The technology is based on using composite materials combined in the way that solution of the additives occurs in a local zone with reduced oxygen content. The additive introduced in liquid metal is blocked by aluminium. Application of composite additives in deoxidation and alloying showed a rather high stability and recovery of the reagents. Average recovery was 81.3 % for titanium, 94.5 % for vanadium and 78.0 % for manganese. The stable high recovery of alloying elements permits to organize introduction of master alloy counting on the lower grade limit of elements in steel. This technology is rather simple to implement and effective in electric steelmaking and foundry shops having electric arc furnaces of low capacity. Economic indicators of using composite materials are improved if aluminium-bearing wastes are used for deoxidation to save the expensive pure aluminium. The technology is successfully tested at the steel works "Red October" (Volgograd, Russia), "Sickle and Hammer" (Moscow, Russia) and "Steel Casting" (Plovdiv, Bulgaria).

*Keywords: ferroalloy; composite material; deoxidation; alloying; resource saving.*

#### References

1. Kudrin V.A. [Metal Oxidability in Blowing the Open Hearth Furnace Bath with Oxygen]. *Primenenie kisloroda v staleplavil'nom proizvodstve* [Use of Oxygen in Steelmaking]. Moscow, Academy of Science USSR Publ., 1955, pp. 80–92. (in Russ.)
2. Nakonechnyi A.Ya., Urtsev V.N., Sinyakov R.V., Khabibulin D.M., Kudrin V.A., Shmakov A.V. Metal Desulphurization with Manganese in the Course of Direct Alloying. *Russian Metallurgy (Metally)*, 2010, no. 12, pp. 1091–1096. doi: 10.1134/S0036029510120025.
3. Nakonechnyy A.Ya., Urtsev V.N., Sinyakov R.V., Khabibullin D.M., Shmakov A.V. [Materials for Direct Alloying of Steel with Manganese]. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik*, 2009, no. 10, pp. 10–19. (in Russ.)
4. Dyudkin D.A., Kirilenko V.V., Kuznetsov M.S., Potapov A.I. [Improvement of Technology of Out-of-Furnace Treatment of Steel with Silicocalcium at JSC "Ural Steel"]. *Metall i lit'e Ukrainy*, 2009, no. 1–2, pp. 48–51. (in Russ.)
5. Isaev G.A., Kudrin V.A., Smirnov N.A., Arkhipov V.M., Chernov N.A.. [Treatment of Engineering Steel in Ladle with Powder Mixtures]. *Steel in the USSR*, 1986, vol. 16, no. 2, pp. 66–68.
6. Isaev G.A., Kudrin V.A. [Conditions for Refining and Alloying Reactions When Reagents are Introduced Deep into Steel]. *Fundamental'nye issledovaniya fizikokhimii metallicheskih rasplavov* [Fundamental Research of Physical Chemistry of Metal Melts]. Moscow, IKTs "Akademkniga" Publ., 2002, pp. 341–354. (in Russ.)
7. Isaev G.A., Kudrin V.A., Smirnov N.A., Magidson I.A. [Processes of Blocking the Reaction Zone with Aluminum During Injection of Powder-Like Reagents into Steel]. *Izvestiya VUZ. Chernaya metallurgiya*, 2002, no. 9, pp. 17–19. (in Russ.)
8. Kudrin V.A., Isaev G.A. [Development of Theory and Technology of Refining Metallurgical Melts with Composite Materials]. *Trudy 3-go kongressa staleplavil'shchikov* [Proceedings of the 3rd Congress of Steelmakers]. Moscow, Chermetinformatsiya Publ., 1996, pp. 279–281. (in Russ.)

9. Isaev G.A., Kudrin V.A. [Development and Use of Composite Materials]. *Izvestiya VUZ. Chernaya metallurgiya*, 1997, no. 11, pp. 18–21. (in Russ.)

10. Isaev G.A., Kudrin V.A., Shishimirov V.A. [Deoxidants and Alloy Additives. Possibility of Saving in Steelmaking]. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik*, 2012, no. 6, pp. 41–50. (in Russ.)

11. Isaev G.A., Kudrin V.A., Savchenko V.I., Kulikov E.B. [Experience in Application of New Composite Materials for Steel Alloying in EAF in Foundry and Steelmaking Shops]. *Elektrometallurgiya*, 2010, no. 11, pp. 8–11. (in Russ.)

12. Isaev G.A., Kudrin V.A., Savchenko V.I., Korostelev A.B., Ushakov B.K. [Processing of Wastes Containing Metal with the Use of Highly Efficient Equipment]. *Trudy 4-y mezhdunarodnoy vystavki "Retsikling, pererabotka otkhodov i chistye tekhnologii"* [Proceedings of the 4th International Exhibition "Recycling, Waste Processing and Clean Technologies"]. Moscow, 2007, pp. 10–13. (in Russ.)

13. Isaev G.A. [Necessity of Working Out of Normative Documents for New Composite Materials Used in Metallurgy]. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik*, 2013, no. 10, pp. 12–15. (in Russ.)

Received 23 April 2015

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Исаев, Г.А. Разработка новых материалов и технологий раскисления и легирования стали с учетом образования в объеме металла локальных зон / Г.А. Исаев, В.А. Кудрин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2015. – Т. 15, № 3. – С. 54–61.

#### FOR CITATION

Isaev G.A., Kudrin V.A. Development of New Technologies of Steel Refining and Alloying with Account for Local Zones Forming in the Metal. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2015, vol. 15, no. 3, pp. 54–61. (in Russ.)