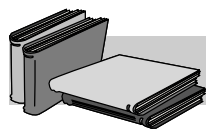


ростом содержания серы от 0,020-0,025 до 0,045-0,05 %. Полученные данные подтверждаются существующими в настоящее время на предприятиях, реализующих первый вариант технологии, целенаправленными производственными мероприятиями, которые уменьшают зависимость качества поверхности заготовки при содержании серы более чем 0,0255 %. При повышенной концентрации серы их технологии предусматривают увеличение отношения (в %) $[Mn] / [S]$ более 14-15.

Металлографические исследования выполнены на заготовках. Из поверхности заготовок отбирали пробы, соответствующие направлению прокатки. Анализ шлифов металла из поверхности заготовок низкокремнистой стали показал, что здоровая корка и прилегающие к ней объемы металла содержали окисульфиды и деформированные сульфиды марганца. Различие в

структуре в первую очередь связано с вторым вариантом выплавки кристаллизующей, с образованием корки, состоящей «чистой» по примесям стали [6].

Таким образом следует отметить, полуспокойной стали возможно по д. Предпочтительным является первый вариант, который обеспечивает одинаковые физико-механические свойства. Он в значительной степени нейтрализует влияние серы на качество поверхности проката. Наличие продольных поверхностных трещин при этих условиях получается ниже, чем на втором варианте производства. В результате это дает дополнительную возможность снизить содержание марганецсодержащих раскислителей из расчета более низкого отношения (в %) $[Mn] / [S]$.



ЛИТЕРАТУРА

1. Шнееров Я. А., Вихлещук В. А. Полуспокойная сталь.- М., Metallurgy, 1973, 368 с.
2. Макуров С. Л. Теория строения кристаллического, жидкого и аморфного состояния веществ для металлургических специальностей. - Мариуполь, 2003, 228 с.
3. Кнюппель Г. Раскисление и вакуумная обработка стали. Термодинамические и кинетические аспекты. Пер. с нем. Г. Н. Еланского // Metallurgy, 1973, 312 с.
4. Производство полуспокойной стали // Центральный институт информации черной металлургии, 1961, 50 с.
5. Принципы оптимизации кондиционности полуспокойной стали перед разливкой. Лебедев Е. Н., Хорьков В. П., Дымченко Е. Н. // Донецк, Metallurgy, 2005. – Вып. 102. – С. 135-139.
6. Казаков А. А. Кислород в жидкой стали.- М.: Metallurgy, 1972, 200 с.

современной технологии внепечной обработки стали кальций занимает определяющее значение в связи с многофакторностью его влияния на физико-химическое состояние расплава, макро- и микроструктуру затвердевающей непрерывнолитой заготовки, качество и свойства металлопродукции. В последние годы при производстве высококачественного металла для магистральных газо- и нефтепроводов, судостроения, строительной индустрии, автомобилестроения и т. д. внепечная обработка стали кальцийсодержащими реагентами является неотъемлемой частью технологии.

До последнего времени в мировой металлургической практике силикокальций марки СК30 являлся наиболее широко используемым сплавом для ввода кальция в сталь. Это обусловлено тем, что такое соотношение компонентов в сплаве (в %) (30 - Са и 60 - Si) обеспечивает оптимальное сочетание основных теплофизических параметров, влияющих на усвоение кальция – весьма

важный технологический и экономический аспект применения порошковой проволоки [1].

Известно, что для повышения эффективности использования кальцийсодержащих материалов необходимо снизить температуру в зоне взаимодействия кальция с жидким расплавом. Одним из таких решений может быть ввод в состав наполнителя проволоки металлического кальция в смеси с материалом, содержащим кремний. При вводе порошковой проволоки с наполнением механической смеси ферросплава, содержащего кальций и кремний, и металлического кальция в жидкий расплав необходимое содержание кальция в ферросплаве будет достигаться непосредственно при обработке жидкого железоуглеродистого расплава.

В последние годы все большее количество металлургических предприятий переходят на использование при внепечной обработке силикокальция СК40. Эта технология была разработана сотрудниками ОАО «Завод «Универсальное оборудование» [2, 3]. Такой марки силикокальция в ГОСТах нет и этот материал не производится, а получается внутри проволоки в процессе ее изготовления путем специально организованной подачи из разных дозаторов порошков силикокальция и металлического кальция. При этом в процессе ввода проволоки образуется сплав и необходимое содержание кальция в ферросплаве достигается непосредственно при обработке жидкого железоуглеродистого расплава. Высокая эффективность использования СК40 обусловлена тем, что сплав с содержанием 40 % кальция образуется по мере вхождения порошковой проволоки в жидкий металл. При этом реакции образования соединений кальция со свободным кремнием, содержащимся в СК30, происходят с поглощением тепла, что снижает температуру в зоне реакции. Образующийся сплав СК40 имеет температуру плавления на 85 °С выше, чем СК30. Все это приводит к снижению угара кальция и повышению его усвоения при внепечной обработке стали.

Изготовление проволоки на специально разработанной линии обеспечивает стабильность химического состава комплексного наполнителя по длине проволоки, а также оптимальные условия растворения и физико-химического взаимодействия компонентов наполнителя.

Использование в технологии производства проволоки предварительно смешанных порошков кальция металлического и силикокальция СК30 приводит к сегрегации материалов и нестабильному содержанию кальция в наполнителе по длине проволоки. Это может приводить к пироэффекту и нестабильному усвоению кальция при внепечной обработке, что вызывает проблемы с модифицированием и разливаемостью металла при непрерывной разливке.

Проведенные ОАО «Завод «Универсальное оборудование» на различных металлургических предприятиях («Белорусский металлургический завод», «Истил-Украина», «Енакиевский металлургический завод», «Молдавский металлургический завод», «Алчевский металлургический комбинат» и других) исследования подтвердили высокую эффективность внепечной обработки стали порошковыми проволоками с наполнением СК40. Усвоение кальция при использовании проволоки с наполнением СК40 на 15-30 % выше относительно проволоки с наполнением СК30 при обработке в одинаковых условиях аналогичного сортамента сталей [4].

Основной составляющей промышленных кальций-кремниевых сплавов является дисилицид кальция CaSi_2 (до 85 %), частично кальций связан в соединениях CaSi (до 10 %) и $\text{Ca}_2\text{Si}_3\text{Al}_4$ (до 5 %), силицид Ca_2Si практически отсутствует. Кремний также присутствует в свободном состоянии (5-10 %) и в виде FeSi_2 (до 5 %) [5].

Авторами выполнен расчет возможного снижения температуры в ковше и локальной зоне взаимодействия при вводе в расплав порошковых проволок с наполнением СК30 и СК40. Соотношение $\text{Ca}_{\text{св.}} / \text{Si}_{\text{св.}}$ в наполнителе СК40 проволоки Ø 15 мм составило, %: 62 / 38.

Исходя из диаграммы состояния Ca-Si, при

вышеуказанных соотношениях свободных кальция и кремния, учитывая, что температура плавления кальция и силикокальция соответственно 833 и 990-1120 °С, а обрабатываемой жидкой стали около 1600 °С, при вводе порошковой проволоки в жидкую сталь в наполнителе СК40 до расплавления оболочки проволоки могут происходить реакции взаимодействия свободных кальция и кремния с кратковременным образованием силицидов кальция – 50 % CaSi и 50 % Ca_2Si .

Дополнительные потери тепла при образовании CaSi и Ca_2Si при обработке жидкой стали в 120-тонном ковше порошковой проволокой с силикокальцием СК40 с расходом 1 кг/т (по проволоке) ориентировочно составят 81680 кДж. При этом снижение температуры металла в 120-тонном ковше для СК40 составит 0,85 °С. Если предположить, что порошковая проволока растворяется в локальном объеме жидкой стали (~ 10 т), то снижение температуры металла в этой зоне для СК40 составит 10,2 °С.

На рисунке представлено снижение температуры металла в ковшах с жидкой сталью различной емкости при вводе порошковой проволоки с силикокальцием Ø 15 мм 1 кг/т. При построении графика использовались как расчетные, так и экспериментальные данные.

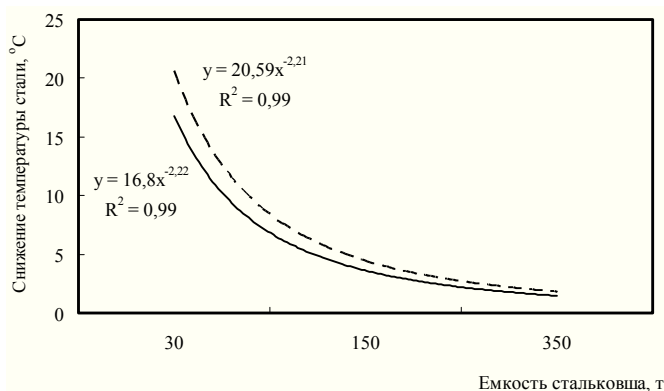


Рис. Снижение температуры металла при вводе в ковш с жидкой сталью порошковой проволоки с силикокальцием Ø 15 мм с расходом 1 кг/т (--- – СК40, — — – СК30)

Как видно из представленных данных, при таких соотношениях между кальцием металлическим и силикокальцием в наполнителе проволоки при обработке жидкой стали в ковше емкостью 120 т кратковременное снижение температуры в локальной зоне реакции может составлять 10-15 °С, что приведет к снижению упругости паров кальция на 0,10-0,15 МПа, смещению равновесной линии $\text{Ca}_\text{ж} - \text{Ca}_\text{г}$ для низкоуглеродистых марок стали в верхнюю часть ковша, что стабилизирует процесс попадания высвобождающегося из проволоки кальция в зону жидкого его состояния и переходу в газообразное лишь в верхней части ковша. Это приведет к повышению эффективности использования кальция.

В ЭСПЦ ОАО «Уральская сталь» в феврале-марте 2008 г. были проведены сравнительные обработки металла порошковыми проволоками с наполнением силикокальцием СК30 и СК40.

Характеристика проволок представлена в табл. 1.

Порошковая проволока присаживалась на установках «ковш-печь» (УКП № 1, а и УКП № 2) (АКП) в одинаковых условиях при обработке стали аналогичного

Таблица 1

Характеристика порошковых проволок с наполнителями из силикокальция СК30 и СК40

Диаметр ПП, мм	Наполнитель	Наполнение, г/м	Коэффициент заполнения, доли	Содержание кальция, г/м	Коэффициент заполнения по кальцию, доли
15	Силикокальций СК30	295	0,578	88,5	0,173
15	Силикокальций СК40	251	0,563	100,4	0,232

сортамента. Количество вводимой проволоки определялось из условия ввода одинакового количества кальция.

Для обеспечения одинаковой массы вводимого силикокальция (при обработке металла для разливки в изложницы – 45 кг; для металла, разливаемого на МНЛЗ № 2 – 60 кг), в связи с различной степенью наполнения указанных выше проволок и использованием различных марок наполнителя, расход проволоки был разный (табл. 2).

Скорость ввода силикокальциевой проволоки в металл на У КП № 1, а составляла 50-70 м/мин, на У КП № 2 – 120-140 м/мин. Низкая скорость ввода проволоки на У КП № 1, а обусловлена неисправностью датчиков, отвечающих за контроль расхода проволоки на более высоких скоростях (150-250 м/мин). Следует отметить, что металл, обрабатываемый на У КП № 1, а, разливается на МНЛЗ № 1, а; металл, обрабатываемый на У КП № 2 – в излож-

Таблица 2

Расход силикокальциевой проволоки

Производитель	Марка наполнителя	Расход проволоки, м/плавку	
		У КП 1а	У КП 2
ОАО «Северсталь-метиз»	СК 30	200	150
ОАО «Завод «Универсальное оборудование»	СК 40	165	125

Таблица 3

Усвоение кальция из проволоки с наполнителями СК30 и СК40

Вид наполнителя	Масса наполнителя в 1 м проволоки, г	Сортамент	Кол-во плавков, шт	Расход SiCa пров, м	Масса жидкой стали, т	Массовая доля Са в стали, %	Усвоение Са, %
СК30	295	общий массив	45	190	116,6	0,00130	9,14
		в т.ч. МНЛЗ	36	200	118,2	0,00125	8,36
		в т.ч. изложницы	9	150	110,5	0,00148	12,27
СК40	251	общий массив	62	151	117,2	0,00149	11,84
		в т.ч. МНЛЗ	40	165	118,1	0,00141	10,01
		в т.ч. изложницы	22	125	115,5	0,00165	15,18

ницы (металл с более высоким содержанием углерода). Таким образом, из-за меньшей скорости ввода проволоки и меньшего содержания углерода (соответственно – более окисленный металл), на плавках, обработанных на У КП № 1, а и разлитых на МНЛЗ № 2, степень усвоения кальция ниже, чем на плавках, обработанных на У КП № 2 и разлитых в изложницы.

Технологические показатели плавков с внепечной обработкой стали порошковой проволокой с наполнением силикокальцием СК40 и СК30 представлены в табл. 3.

На плавках с обработкой силикокальцием СК40 содержание кальция в готовом металле (проба на МНЛЗ) составило 0,00149 % (по первой группе плавков на У КП № 1, а – 0,00141 %, по второй группе плавков на У КП № 2 – 0,00165 %). На плавках с обработкой силикокальцием СК30 содержание кальция в готовом металле составило 0,0013 % (по первой группе плавков на У КП № 1, а – 0,00125 %, по второй группе плавков – 0,00148 %).

Степень усвоения кальция по готовому металлу на плавках с обработкой силикокальцием СК40 составила 11,84 % (по первой группе плавков на У КП № 1, а – 10,01 %, по второй группе плавков на У КП № 2 – 15,18 %). Степень усвоения кальция по готовому металлу на плавках с обработкой силикокальцием СК30 составила 9,4 % (по первой группе плавков 8,36 %, по второй группе плавков 12,27 %).

Усвоение кальция по готовому металлу на плавках с обработкой силикокальцием СК40 на 2,7 абс. или на 29,5 % отн. выше, чем на плавках с обработкой силикокальцием СК30.

На проведенных плавках случаев затягивания каналов стакан-дозаторов и погружных стаканов (при разливке стали на МНЛЗ), а также снижения качества металла не наблюдалось.

Эквивалентный коэффициент модифицирования стали проволокой с наполнителем СК40 по отношению к проволоке с СК30 (коэффициент замены проволоки с наполнителем СК30 на проволоку с наполнителем СК40) по результатам проведенных плавков с учетом содержания кальция в проволоке и повышения усвоения кальция составил 0,61, то есть расход проволоки с СК40 для получения в готовом металле одинакового остаточного содержания кальция ниже на 39 %.

Расчет эквивалентного коэффициента замены проволоки с наполнителем СК30 на проволоку с наполнителем СК40 производился по следующей формуле:

$$K_{\text{СК30 на СК40}} = (Q_{\text{СК40}}/[Ca]_1) / (Q_{\text{СК30}}/[Ca]_2),$$

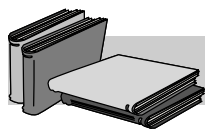
где $Q_{\text{СК40}}$ – расход наполнителя СК40, г/т; $Q_{\text{СК30}}$ – расход наполнителя СК30, г/т; $[Ca]_1$ – содержание кальция в готовой стали после обработки проволокой с наполнителем СК40, ppm; $[Ca]_2$ – содержание кальция в готовой стали после обработки проволокой с наполнителем СК30, ppm.

Следует отметить, что меньший удельный расход проволоки при равном качестве обработки способствует

сокращению длительности внепечной обработки.

Таким образом, в условиях ЭСПЦ ОАО «Уральская сталь» использование при внепечной обработке стали соответствующего сортамента порошковой проволоки с

наполнением СК40 позволяет значительно повысить производительность на производство стали при обеспечении требуемого уровня качества металла.



ЛИТЕРАТУРА

1. «Ковш-печь» – современный агрегат для получения стали. Дюдкин Д. А., Кисиленко В. В., Болотов В. Ю. – Донецк: Норд-Пресс, 2008, 473 с.
2. Патент № 67016, Україна. Дріт для позапічної обробки металургійних розплавів / Дюдкин Д. А., Бать С. В., Болотов В. Ю. / Український патентний офіс, 2008.
3. Патент № 2234541, РФ. Проволока для внепечной обработки металлургических расплавов / Дюдкин Д. А., Кисиленко В. В., Болотов В. Ю. / Патентное ведомство РФ, 2008.
4. Дюдкин Д. А., Кисиленко В. В. Современная технология производства стали. – М.: Теплотехник, 2008.
5. Гасик Л. Н., Игнатьев В. С., Гасик М. И. Структура и качество промышленных ферросплавов и лигатур. – М.: Металлургия, 2008.

период с 2001 по 2007 гг. производство стали на «ММЗ» Истил (Украина)» возросло в 2,8 раза – 1,02 млн. т, а длительность обработки плавов на установке «печь-ковш» (УПК) при этом сократилось в 1,7 раз – с 73 до 44 мин, что позволило обрабатывать на УПК до 28 плавов в сутки.

Основные показатели технологии на установке «печь-ковш» фирмы «DANIELI» представлены в табл. 1.

Целью оптимизации энерго-технологических параметров обработки металла на установке «печь-ковш» в указанный период явилось обеспечение максимальной производительности линии (ДСП-УПК-VD / VOD-МНЛЗ) заданного качества стали при минимальных затратах на ее обработку.

Поскольку «печь-ковш» является буферным агрегатом, для реализации указанной цели осуществлялась настройка оптимальных параметров всей цепи (ДСП-УПК-VD / VOD-МНЛЗ). Снижение длительности обработки плавов на УПК осуществлялось параллельно с оптимизацией параметров работы агрегата «печь-ковш».

Таблица 1

Основные показатели технологии на установке «печь-ковш»

Параметры УПК	2001		2007	
	2001	2007	2001	2007
Длительность обработки, мин	73	55	73	44
Уд. расход эл.энергии, кВт•ч/т	62,72	49,2	62,72	49,2
Уд. расход электродов, кг/т	0,90	0,90	0,90	0,90
Уд. расход аргона, м ³ /т	0,25	0,25	0,25	0,25