

*Кузнецов Д.Ю.,
к.т.н. Куберский С.В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина),
Ямполь А.И.
(ОАО «Алчевский металлургический комбинат»,
г. Алчевск, Украина)*

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ АВТОЛИСТОВЫХ СТАЛЕЙ С УДАЛЕНИЕМ КРЕМНИЯ

Проаналізовані технологічні ситуації, які можуть мати місце при позапічній обробці автолистових сталей на установці ківш-піч із застосуванням технології видалення кремнію шляхом ініціації процесу силікотермії магнію.

Ключові слова: автолистовая сталь, кремний, оксид магнію, дуговой нагрів, шлак, силікотермія.

Проанализированы технологические ситуации, которые могут иметь место при внепечной обработке автолистовых сталей на установке ковш-печь с применением технологии удаления кремния путем инициации процесса силикотермии магния.

Ключевые слова: автолистовая сталь, кремний, оксид магния, дуговой нагрев, шлак, силикотермия.

Обеспечение заданного содержания кремния в автолистовых сталях является достаточно актуальной и непростой задачей.

В последние годы с целью предотвращения восстановления кремния из SiO₂ шлака при производстве бескремнистых низкоуглеродистых марок стали разрабатываются новые технологии рафинирования металла на установке ковш-печь (УКП) [1,2]. Однако на сегодняшний день данная проблема остается актуальной, и требуются дополнительные исследования для дальнейшего ее решения.

На основании ранее проведенных исследований в условиях кислородно-конвертерного цеха ОАО «Алчевский металлургический комбинат» (ОАО «АМК») (проведение планированного двухфакторного эксперимента) была получена зависимость уменьшения содержания кремния в стали от расхода оксида магния и длительности дугового нагрева металла, имеющая вид

$$\Delta Si = -0,0025 + 1,1305 \cdot 10^{-5} \cdot M_{MgO} + 0,0009 \cdot \tau_H - 9,5208 \cdot 10^{-8} \cdot M_{MgO}^2 - 0,0001 \cdot \tau_H^2 + 9,25 \cdot 10^{-6} \cdot M_{MgO} \cdot \tau_H, \quad (1)$$

где ΔSi – количество удаляемого кремния, %;

M_{MgO} – масса расходуемого оксида магния, кг;

τ_H – время электродугового нагрева металла, мин.

Основной целью настоящих исследований была оценка эффективности применения полученной зависимости в производственных условиях и разработка технологии обеспечения заданного содержания кремния в автолистовых сталях типа SAE 1006 для различных условий обработки на УКП. Были проанализированы три наиболее актуальных технологических ситуации.

Первая ситуация имеет место, когда технолог УКП ограничен в выборе количества MgO-содержащего материала, которое можно ввести в шлак, и длительностью нагрева, который необходимо провести после присадки MgO для обеспечения температурных условий протекания процесса силикотермии. Требуется определить количество кремния, которое может быть удалено из металла при заданных условиях.

Для определения количества MgO-содержащего материала, которое необходимо ввести в шлак, нужно знать химический состав шлака и его массу. Пробы шлака на химический анализ отбираются по ходу внепечной обработки, поэтому данные о химическом составе шлака (а конкретно о содержании в нем MgO) всегда есть к тому времени, когда требуется ввод дополнительного количества оксида магния. Масса шлака может быть определена с достаточной для производственных условий точностью по формуле:

$$M_{шл} = \pi \cdot R^2 \cdot H \cdot \rho_{шл}, \quad (2)$$

где R – радиус сталеразливочного ковша по шлаковому поясу (1,65 м);

H – толщина шлака в ковше, м (обычно определяется намораживанием шлака на кислородную трубку);

$\rho_{шл}$ – плотность шлака, кг/м³ (может быть оценена по литературным данным исходя из химического состава шлака).

Для большей точности в определении массы ковшевого шлака необходимо проводить автоматизированный расчет, основанный на данных о количестве присаживаемых в ковш материалов, угаре раскислителей и легирующих и износе футеровки ковша с момента начала выпуска стали из конвертера.

Если в среднем масса шлака в конце обработки стали составляет 6,5 т, а содержание MgO в шлаке 5,5% (357,5 кг), то без ухудшения рафинировочных свойств шлака можно добавить оксида магния до его содержания около 8%: $M_{MgO} = (357,5 \times 8 / 5,5) - 357,5 = 162,5$ кг.

Поскольку восстановление кремния происходит в конце обработки плавки на УКП [3], то время на проведение процесса силикотермии магния (т.е. длительность дугового нагрева после присадки MgO-содержащего материала) перед отдачей ковша для разливки на машине непрерывного литья заготовок в большинстве случаев ограничено. По предварительным оценкам τ_n составляет 5 ÷ 10 мин. Заданная средней величиной $\tau_n = 7,5$ мин.

Пользуясь полученной зависимостью (1) определим количество кремния, которое можно удалить из металла при заданных условиях:

$$\Delta Si = -0,0025 + 1,1205 \cdot 10^{-5} \cdot 162,5 + 0,0009 \cdot 7,5 - 9,5208 \cdot 10^{-8} \cdot 162,5^2 - 0,0001 \cdot 7,5^2 + 9,25 \cdot 10^{-6} \cdot 162,5 \cdot 7,5 = 0,0092\%.$$

Таким образом, для указанных технологических условий максимальное содержание кремния, при котором процесс силикотермии позволит избежать отбраковки металла марки 1006 по содержанию кремния, составляет: $[Si] = 0,0250 + 0,0092 = 0,0342\%$.

Во втором случае технолог УКП может быть ограничен в выборе длительности дугового нагрева, который необходимо провести после присадки MgO для обеспечения температурных условий протекания процесса силикотермии, при этом требуется удалить из металла определенное количество кремния. Необходимо определить оптимальное количество MgO-содержащего материала, которое можно ввести в шлак, при условии, что это количество изначально не ограничивается. Такая ситуация может иметь место в конце внепечной обработки, когда шлак уже выполнил свои рафинировочные функции и количество вводимого оксида магния не ограничивается физико-химическими свойствами шлака.

Количество кремния, которое необходимо удалить из металла, определяется по данным химического анализа проб металла, которые отбираются по ходу всей обработки металла на УКП. Рассмотрим стандартную ситуацию, когда по полученному анализу пробы металла содержание кремния в стали марки 1006 составляет 0,0300%, т.е. на 0,0050% выше допустимого предела. Необходимо снизить содержание кремния в стали с некоторым запасом, поэтому принимаем величину $\Delta[Si] = 0,0100\%$, тогда по завершению процесса силикотермии в металле должно быть $[Si] = 0,0200\%$.

Аналогично первой ситуации зададимся величиной длительности дугового нагрева $\tau_n = 7,5$ мин.

Проведем расчет величины снижения содержания кремния в стали при различных значениях массы присадок MgO в интервале 140 ÷ 470 кг (таблица 1). По полученным данным построена графическая зависимость (рисунок 1).

Таблица 1 – Изменение содержания кремния в стали в зависимости от массы присаживаемого MgO

№ п/п	M_{MgO} , кг	τ_n , мин.	$\Delta [Si]$, %
1	140	7,5	0,0080
2	170	7,5	0,0096
3	200	7,5	0,0109
4	230	7,5	0,0121
5	260	7,5	0,0131
6	290	7,5	0,0140
7	320	7,5	0,0147
8	350	7,5	0,0152
9	380	7,5	0,0155
10	410	7,5	0,0157
11	440	7,5	0,0157
12	470	7,5	0,0155

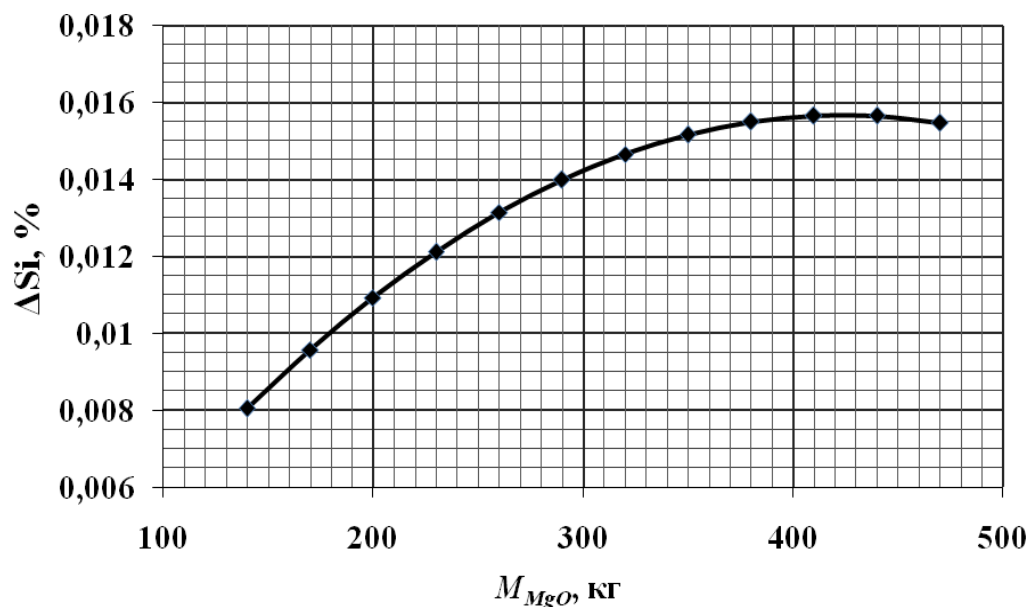


Рисунок 1 – Зависимость изменения содержания кремния в стали от массы присаживаемого MgO

Как видно из таблицы и рисунка 2, необходимое значение снижения содержания кремния в стали соответствует промежутку расхода оксида магния между 170 и 200 кг. Для определения точного значения массы присадки MgO выражаем величину M_{MgO} из уравнения (1), тогда для заданных условий $M_{MgO} = 179,0$ кг.

Также по результатам расчета, приведенным в таблице 1, необходимо отметить, что с увеличением расхода MgO более 430 кг содержание кремния в металле начинает расти. Это свидетельствует о том, что процессы восстановления кремния начинают превалировать над процессом силикотермии, что в свою очередь подтверждает необходимость корректировать между собой расход MgO и длительность дугового нагрева.

В третьей ситуации технолог У КП может быть ограничен в выборе количества MgO-содержащего материала, которое можно ввести в шлак, при этом требуется удалить из металла определенное количество кремния. Необходимо определить τ_n при условии, что процесс силикотермии не ограничен во времени проведения дугового нагрева после присадки MgO.

Аналогично предыдущим ситуациям зададимся массой вводимого в шлак оксида магния $M_{MgO} = 162,5$ кг и количеством кремния, которое необходимо удалить, $\Delta[Si] = 0,0100\%$.

Проведем расчет величины снижения содержания кремния в стали при различных значениях длительности дугового нагрева в интервале 5 ÷ 14 мин. (таблица 2). По полученным данным построена графическая зависимость (рисунок 2).

Таблица 2 – Изменение содержания кремния в стали в зависимости от длительности дугового нагрева

№ п/п	M_{MgO} , кг	τ_n , мин.	$\Delta [Si]$, %
1	162,5	5	0,0063
2	162,5	6	0,0076
3	162,5	7	0,0087
4	162,5	8	0,0096
5	162,5	9	0,0103
6	162,5	10	0,0108
7	162,5	11	0,0111
8	162,5	12	0,0112
9	162,5	13	0,0111
10	162,5	14	0,0108

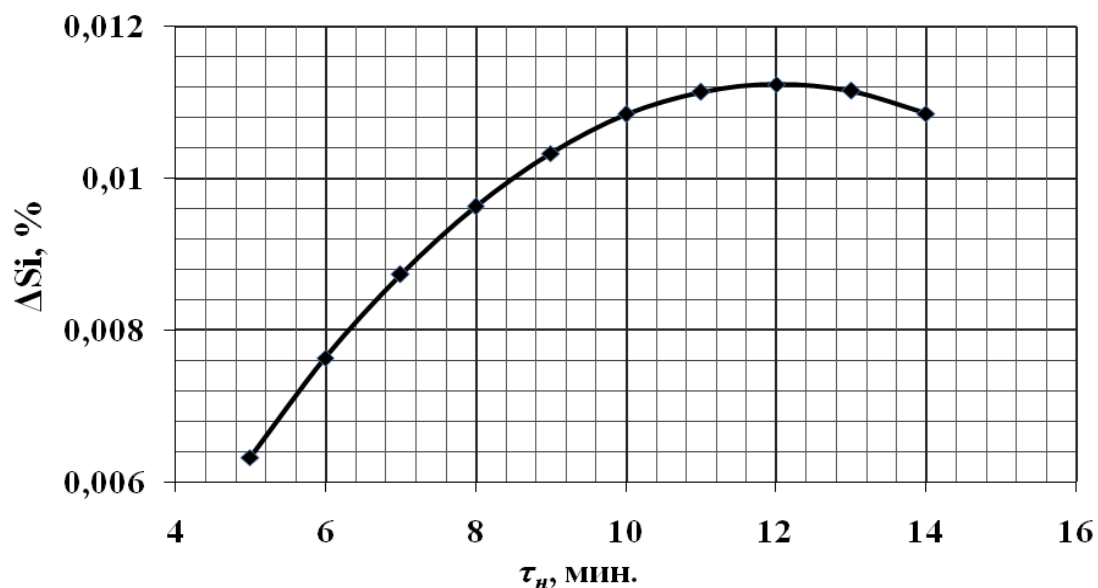


Рисунок 2 – Зависимость изменения содержания кремния в стали в зависимости от длительности дугового нагрева

Как видно из таблицы и рисунка 2, необходимое значение снижения содержания кремния в стали соответствует промежутку времени между 8-й и 9-й минутами. Для определения точного значения длительности нагрева выражаем величину τ_n из уравнения (1), тогда для заданных условий $\tau_n = 8,49$ мин.

Как и в предыдущем случае, с дальнейшим изменением задаваемого параметра содержание кремния в металле будет снова расти. При значениях длительности дугового нагрева более 12 мин. эффективность процесса силикотермии по сравнению с процессами алюмо- и карботермии кремния будет снижаться.

Таким образом, в результате проведенного анализа характерных для ОАО «АМК» производственных ситуаций, возникающих при производстве автолистовых сталей, были определены зависимости: изменения содержания кремния в стали от количества присаживаемого оксида магния и длительности дугового нагрева; длительности дугового нагрева от количества присаживаемого оксида магния и количества кремния, которое требуется удалить; количества присаживаемого оксида магния от количества кремния, которое требуется удалить, и длительности дугового нагрева. Полученные зависимости были предложены для использования в технологии производства бескремнистых сталей.

В качестве дальнейшего развития данной работы предусмотрена разработка математической модели для автоматизированных систем управления процессом внепечной обработки, позволяющих на основе

расчета указанных выше величин определить оптимальные параметры технологического процесса в производственных условиях.

Библиографический список

1. *Валиахметов А.Х. Особенности изменения содержания кремния в малоуглеродистой стали во время ковшевой обработки / А.Х. Валиахметов, В.А. Бигеев, А.А. Степанов, С.А. Самойлин // Сталь. – 2004. – №7. – С. 22-23.*

2. *Писмарев К.Е. Особенности технологии производства стали для непрерывной разливки в условиях ОАО «Алчевский металлургический комбинат» / К.Е. Писмарев, В.В. Акулов, С.А. Сбитнев, А.А. Бросев, А.В. Лукьянов // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. – №8. – С. 30-33.*

3. *Кузнецов Д.Ю. Баланс кремния и обеспечение его заданного содержания в непрерывнолитой автолистовой стали / Д.Ю. Кузнецов, С.В. Куберский, А.И. Ямполь, К.В. Винник // 50 лет непрерывной разливке стали в Украине: Сб. научн. тр. под ред. Д.А. Дюдкина, А.Н. Смирнова. – Донецк: ДонНТУ, 2010. - С. 337-345.*

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Петрушовым С.Н.