

*Аспирант Кузнецов Д.Ю.
Канд. техн. наук, доцент Куберский С.В.
Аспирант Васильев Д.Б.
Студент Переяслов Д.В.
Студент Сергухин А.С.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)
Начальник группы непрерывной разливки
и внепечной обработки стали Пащенко А.В.
(ЦЛК ОАО «Алчевский металлургический комбинат»,
г. Алчевск, Украина)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ КРЕМНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Наведені результати дослідження зміни вмісту кремнію у маловуглецевій низькокремністій сталі під час позапічної обробки і пропозиції з оптимізації її виробництва в умовах ВАТ «Алчевський металургійний комбінат».

В сортаменте ОАО «АМК» доля производства малоуглеродистых сталей типа 1006 SAE, 1008 SAE, 1010 SAE составляет около 30 %. Листовой прокат из этих сталей у потребителей, например в автомобилестроении, подвергается глубокой вытяжке. Предел текучести такой стали зависит от содержания примесей, особенно кремния, содержание которого не должно превышать 0,03 %, а для стали марки 1006 SAE – 0,025 %. Анализ технологических параметров производства отмеченных сталей показал, что содержание кремния в маркировочной пробе часто превышает допустимые пределы. Наибольший прирост содержания кремния в металле наблюдается в процессе глубокой десульфурации его на установке «ковш-печь» (УКП).

В последние годы с целью предотвращения восстановления кремния при производстве низькокремнистых малоуглеродистых марок стали разрабатываются новые технологии рафинирования металла на УКП [1]. Однако на сегодняшний день данная проблема остается актуальной и требуются дополнительные исследования для дальнейшего ее решения.

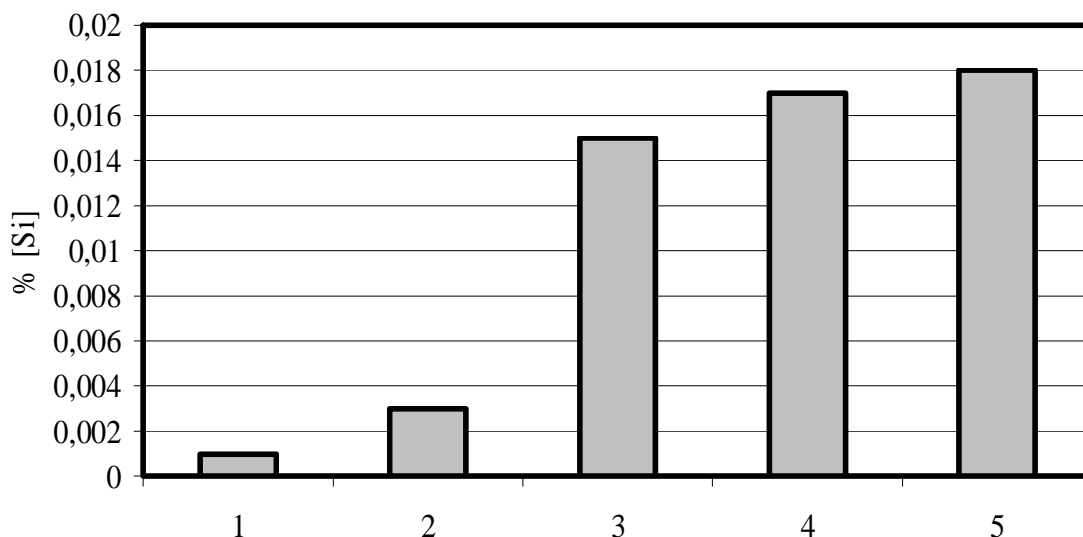
Данная статья посвящена исследованию поведения кремния при производстве малоуглеродистой низькокремнистой стали во время вне-

печной обработки в условиях сталеплавильного производства ОАО «АМК».

Основной задачей предложенной работы было усовершенствование технологии рафинирования металла для предотвращения восстановления кремния.

На ОАО «АМК» выплавку металла производят в двухванном сталеплавильном агрегате (ДСА) садкой 2×300 т с последующей обработкой на УКП и разливкой на слябовой МНЛЗ. Выпуск металла осуществляется в ковш емкостью 300 т с шамотной футеровкой, который транспортируется на установку перелива. Перелив производят через два шибера в разливочный ковш с основной футеровкой. В ходе перелива металл продувают аргоном. Через 1,5-2,0 мин после начала перелива вводят чушковый алюминий, марганец металлический и твердую шлакообразующую смесь (ТШС), состоящую из извести (75 %) и плавикового шпата (25 %). Данная технологическая операция позволяет свести к минимуму попадание печного шлака в разливочный ковш и снизить окисленность металла. После перелива металл поступает на установку «ковш-печь».

Остаточное содержание кремния после перелива составляет 0,001-0,002 %. Заметный прирост содержания кремния в стали происходит при обработке на УКП (рис. 1).



1 - после перелива; 2 и 3 - в начале и конце обработки на УКП;
4 и 5 - в начале и конце разливки

Рисунок 1 – Среднее изменения содержания кремния по ходу технологического процесса производства малоуглеродистой стали

Источниками кремния в металле во время ковшевой обработки являются: алюминий чушковый, используемый для предварительного раскисления при переливе и раскисления на УКП (содержит до 5 % Si), алюминиевая катанка, применяемая для окончательного раскисления и легирования на УКП (содержит до 2 % Si), а также кремнезем рафинировочного шлака, из которого кремний может восстанавливаться алюмотермическим процессом. В свою очередь SiO_2 поступает в шлак:

- при попадании в ковш печного шлака на переливе;
- при вводе ТШС, содержащей 9,5 % SiO_2 ;
- при вводе на УКП алюмофлюса (отходы производства вторичного алюминия), содержащего до 15 % SiO_2 ;
- при раскислении шлака алюминиевыми гранулами (содержащими до 5% SiO_2).

По данным химического анализа проб шлака при выплавке стали марки 1006 SAE содержание оксида кремния в нем достигает 10 %. Рафинировочный шлак к концу обработки плавки, когда происходит основной прирост содержания кремния в металле, имеет следующий состав: 55-60 % CaO, 7-10 % SiO_2 , 23-27 % Al_2O_3 , 7-9 % MgO, < 0,5 % FeO+MnO.

В ходе десульфурации на УКП шлак и металл в ковше подвергаются раскислению дробью алюминия (0,3 кг/т), алюминиевыми чушками (0,72 кг/т), алюминиевой катанкой (1,1 кг/т), алюмофлюсом (1,8 кг/т), причем расход алюминия зависит от окисленности металла перед УКП (рис. 2). В процессе раскисления, наряду со снижением содержания оксидов (FeO) и (MnO), активизируется процесс восстановления кремния из кремнезема [1].

Для глубокой десульфурации суммарное содержание (FeO+MnO) должно быть не более 0,5 %. Чем глубже раскисление шлака, тем вероятнее взаимодействие вводимого в виде алюминиевых гранул алюминия с кремнеземом и восстановление кремния. Возможность протекания алюмотермического восстановления подтверждается данными работы [2], которые свидетельствуют о том, что алюминий может быть восстановителем кремния из кремнезема во всем температурном интервале, характерном для условий внепечной обработки. Кроме того, при температуре от ~ 1600 °C восстановителем кремния может быть и углерод, источником которого являются графитовые электроды. Образующийся в процессе восстановления кремний перейдет в металл, где он не может быть вторично окислен из-за присутствия алюминия.

Однако, при указанном составе шлака в системе CaO-MgO- Al_2O_3 - SiO_2 кремнезем, присутствующий в шлаке в виде кристобалита, связывается в термодинамически более прочные сложные оксидные соединения, что затрудняет восстановление кремния. Анализ данных, приведен

ных в работе [3], показывает, что при температуре шлака на УКП 1800-1900 К в устойчивой форме существуют только соединения CaO-SiO_2 , 2CaO-SiO_2 , 3CaO-SiO_2 , 2MgO-SiO_2 , $3\text{Al}_2\text{O}_3-2\text{SiO}_2$, CaO-MgO-SiO_2 , $\text{CaO-AL}_2\text{O}_3-2\text{SiO}_2$, $2\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$. При этом термодинамически предпочтительнее будет образование муллита и анортита.

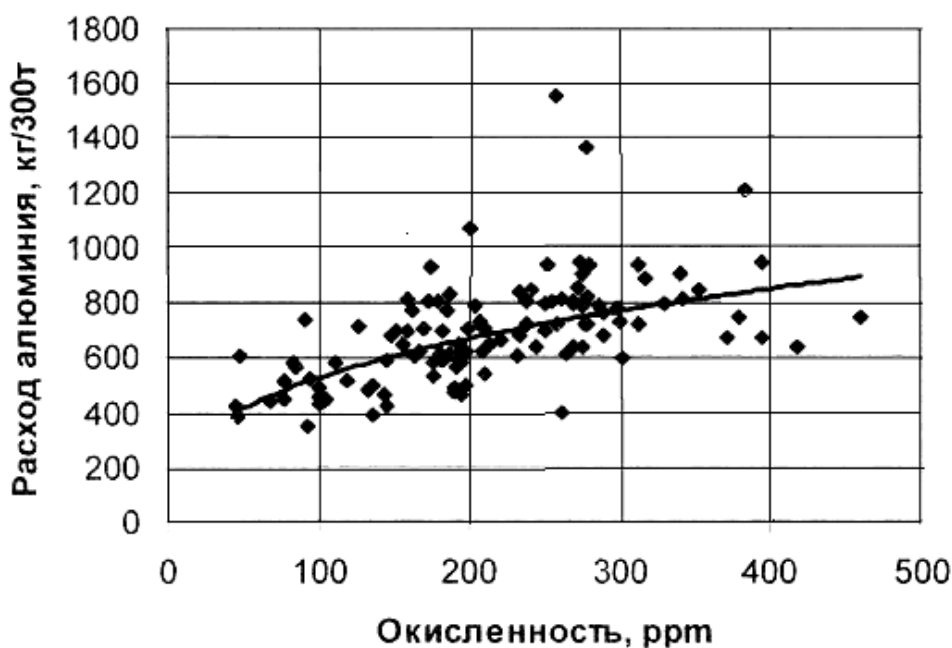


Рисунок 2 – Зависимость расхода алюминия от окисленности металла

Исходя из этого можно утверждать, что основная часть кремния восстанавливается в зоне дуги. В условиях низкотемпературной плазмы в зоне работы дуги происходит разложение сложных оксидных соединений, и освобождающийся кремнезем восстанавливается алюминием, введенным в шлак в виде гранул, алюминием растворенным в металле и углеродом графитовых электродов. Таким образом, чем больше длительность дугового нагрева металла после наведения рафинировочного шлака, тем больше будет восстановлено кремния. Трансформатор УКП ОАО «АМК» имеет 12 ступеней напряжения в порядке возрастания с 1 по 12, соответственно при работе на 6-8 ступенях, характерной технологии ОАО «АМК», длительность нагрева металла увеличивается, что влечет за собой большее восстановление кремния в зоне дуги. Поэтому в конце обработки целесообразнее работать на 9-10 ступенях (11-12 ступени не рекомендуются во избежание растрескивания электродов, обусловленного конструктивными особенностями установки).

Опыт работы УКП ОАО «АМК» показал высокую эффективность применения алюмофлюса при наведении рафинировочного шлака. Алюмофлюс ($Al_{мет}$ 12-14 %; Al_2O_3 55-65 %; SiO_2 5-10 %; CaO 2-3 %; $Fe_{общ}$ 4,5-5,5 %; Na_2O+K_2O 0,05-0,09 %; $NaCl+KCl$ 6-10 %) позволяет сократить расход алюминиевых гранул, провести эффективную десульфурацию металла и обеспечить незначительный прирост содержания кремния в стали. Высокая эффективность применения алюмофлюса обусловлена следующим:

- алюминий металлический раскисляет шлак, усиливая его десульфурующую способность;
- вносимый в шлак Al_2O_3 повышает его жидкоподвижность, ускоряя физико-химические процессы рафинирования стали;
- Al_2O_3 алюмофлюса хорошо связывает кремнезем в неактивные сложные оксидные соединения.

На УКП ОАО «АМК» существует практика введения магнетитового порошка в наведенный рафинировочный шлак при быстром росте содержания кремния в стали. Это приводит к загущению шлака и замедлению перехода кремния в металл. Согласно данным работы [2] при температуре свыше $2200\text{ }^{\circ}C$, достигаемой в зоне работы дуги, кремний может быть восстановителем магния. Следовательно, при введении магнетита в зону работы дуги кремний, растворенный в металле, и восстанавливаемый из кремнезема кремний будет расходоваться на восстановление магния из MgO . Таким образом можно не только предотвратить переход кремния в металл, но и снизить его содержание в стали.

В результате проведенных исследований были разработаны технологические рекомендации для повышения эффективности рафинирования металла и предотвращения восстановления кремния. Данные рекомендации предполагают:

- исключить выпуск из ДСА «передутого» металла (с высокой окисленностью) для уменьшения расхода алюминия при его раскислении;
- максимально ограничить попадание печного шлака в разливочный ковш при переливе;
- во время наведения рафинировочного шлака увеличить расход алюмофлюса взамен алюминиевых гранул;
- обеспечение быстрого нагрева (работа на 9-10 ступенях) металла в конце внепечной обработки;
- во избежание восстановления кремния при легировании металла алюминием вводить алюминиевую катанку в самом конце ковшевой обработки без последующего нагрева;
- при быстром росте содержания кремния в стали вводить в зону работы дуги магнетит.

Приведены результаты исследования изменения содержания кремния в малоуглеродистой низкокремнистой стали во время внепечной обработки и предложения по оптимизации ее производства в условиях ОАО «Алчевский металлургический комбинат».

The results of research of change of maintenance of silicon in low-carbon low-silicon steel during LF-process and suggestions on optimization of its production in the conditions of OJSC «Alchevsk iron and steel works».

Библиографический список

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

2. Филиппов С.И. Теория металлургических процессов. – М.: Металлургия, 1967. – С.99.

3. Низяев К.Г. Термодинамические закономерности восстановления магнетита под слоем жидкого металла // Труды IX международной научно-технической конференции «Теория и практика кислородно-конвертерного процесса». - Днепропетровск: ГМетАУ, 1998. С.26-27.