

**Экологические проблемы процесса внепечной  
обработки стали на установке печь-ковш**

Магистрант Ерошенко П. А., студенты гр. 10405119 Дайлид Е. С., Логонюк И.И.  
гр. 10405120 Форнель А.Д.

Научные руководители: Румянцева Г.А., Немененок Б. М.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Развитие техники и повышение ресурса ее работы требует использования материалов повышенной прочности, что в свою очередь приводит к необходимости, производства стали с более высокой степенью чистоты по вредным примесям и неметаллическим включениям. В таблице 1 приведена динамика изменения требований по содержанию серы и фосфора в сталях за последние 50 лет.

Таблица 1. – Изменение содержания серы и фосфора в сталях с 1970 по 2020 годы [1]

Примеси	Допустимое содержание примесей в период с 1970 по 2020 годы, масс. %					
	1970	1980	1990	2000	2010	2020
Сера	0,030	0,020	0,008	0,004	0,003	0,002
Фосфор	0,035	0,015	0,010	0,007	0,005	0,003
Сера+фосфор	0,065	0,035	0,018	0,011	0,008	0,005
Сера, класс А				0,003	0,002	0,0015
Фосфор, класс А				0,005	0,004	0,0035

Обеспечение высокой степени чистоты стали по вредным примесям и неметаллическим включениям трудно реализуется в электродуговых печах небольшой емкости с основной футеровкой. В крупнотоннажных электродуговых печах задачи такого плана вообще не решаются без использования процессов внепечной обработки стали на установках печь-ковш. На эффективность рафинирования стали оказывают влияние химический состав шлака, его сульфидная емкость, окисленность шлака, температурные условия обработки, вязкость шлака и гидродинамика процесса [2].

В значительной степени рафинирующая способность шлаков зависит и от их жидкоподвижности, поскольку процессы десульфурации и раскисления получают свое развитие на границе шлак – расплав. На большинстве предприятий для разжижения шлаков используют флюорит (плавиковый шпат)  $\text{CaF}_2$  или алюмосодержащие материалы.

Применение  $\text{CaF}_2$  имеет ряд существенных недостатков:

- фторид кальция способствует разъединению футеровки сталеразливочного ковша и вакуум-камер;
- в условиях высоких температур происходит частичное испарение  $\text{CaF}_2$ , приводящее к ухудшению экологической обстановки;
- повышается стоимость обработки в виду высокой цены  $\text{CaF}_2$ .

Ряд исследователей отмечают положительное влияние алюмосодержащих материалов на жидкоподвижность рафинировочных шлаков. В качестве таких добавок используют алюминиевые раскислительные смеси (АРС), полученные на основе отходов от переработки вторичного алюминия (ОПВА) [3,4].

Таким образом, вводя в рафинировочные шлаки добавки, содержащие  $\text{CaO}$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , можно регулировать основность и жидкотекучесть шлаков, а также отказаться от использования плавикового шпата. Установлено [3], что содержание в шлаках 20-25 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  исключает необходимость использования плавикового шпата для их разжижения.

Вместе с тем, необходимо учитывать, что отходы от переработки вторичного алюминия

содержат в своем составе 8-25 % хлористых солей, что требует их предварительной подготовки перед вводом в рафинировочные шлаки [3].

Хлористые соли натрия и калия при температурах внепечной обработки стали обладают высокой летучестью, что существенно ухудшает условия труда на установке печь-ковш. При этом в условиях окислительной среды при высокотемпературном сжигании разрушаются все хлорсодержащие соединения, образуя хлористый водород и в небольших количествах атомарный хлор. Однако при последующем охлаждении продуктов стгорания в диапазоне температур 200-450 °С происходит химическая реакция между HCl и кислородом с образованием молекулярного хлора и паров воды известная в технической литературе как процесс Дикона (Deacon). При участии некоторых природных катализаторов (хлоридов меди, железа и др.) свободный хлор синтезируется в диоксиды, кристаллы которых ассимилируются активной поверхностью пыли, содержащейся в отходящих газах [5]. Это требует корректировки схем систем пылегазоочистки. Наиболее приемлемые варианты очистки отходящих газов от хлора, следующие: мокрая очистка раствором гашеной извести Ca(OH)<sub>2</sub> или сухая очистка порошком кальцинированной соды Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Эти же реактивы также эффективно снижают содержание HF, SO<sub>3</sub> и H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в газе [5].

Задачу очистки отходящих газов от хлористых соединений и диоксидов можно упростить, исключив хлористые соли из отходов переработки вторичного алюминия. В случае переработки алюминиевых шлаков, по бесфлюсовой технологии, содержание хлоридов в образующихся ОПВА (вторичные шлаки) составляет менее 1 %, а учитывая добавки других материалов в состав APC, содержание хлористых солей снижается до 0,3-0,5 %, что положительно сказывается на условиях труда в зоне установки печь-ковш.

Второй вариант оздоровления условия труда при внепечной обработке стали сводится к использованию отвальных шлаков в составе APC. Длительное хранение отвальных шлаков на открытой площадке приводит к практически полному окислению в них остаточного алюминия до Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и вымыванию из шлаков NaCl и KCl, которые используются в составе флюсов при плавке алюминиевых сплавов и удаляются в шлак вместе с оксидами. Дробление и рассев таких шлаков позволяет успешно использовать их в составе APC или разжижителей рафинировочных шлаков.

Следует отменить еще один положительный момент от использования APC и разжижителей на основе ОПВА. Известно [6], что в составе рафинировочного шлака при затвердевании формируется соединения C<sub>2</sub>S (2CaO·SiO<sub>2</sub>), являющееся причиной его саморазрушения из-за уменьшения плотности при протекании полиморфных α→β→γ превращений. Для стабилизации высокотемпературной модификации α-C<sub>2</sub>S используют оксиды MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, BaO, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и Sr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> или их комбинации. В случае разжижения рафинировочных шлаков составом на основе ОПВА в шлаке увеличивается содержание C<sub>12</sub>A<sub>7</sub> (12CaO·7Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), а количество фазы C<sub>2</sub>S уменьшается и при добавке более 18 % ОПВА шлак из нестабильного переходит в стабильное состояние. Стабилизированные рафинировочные шлаки можно использовать как шлакообразующие при плавке стали в крупнотоннажных электродуговых печах [4].

Таким образом при использовании бесфлюсовых алюминиевых шлаков решается вопрос снижения вредных выбросов при внепечной обработке стали, повышается стойкость футеровки сталеразливочных ковшей, рационально используются отвальные алюминиевые шлаки для производства новых видов реагентов, исключаются отходы 4 класса опасности, подлежащие захоронению, создаются условия для применения обработанных рафинировочных шлаков в качестве шлакообразующих при плавке стали в электродуговых печах.

#### Список использованных источников

1. Еланский, Д.Г. Обзор докладов на пленарном заседании XIV международного конгресса сталеплавильщиков / Д.Г. Еланский, Г.Н. Еланский // Сталь. - 2016. - № 11. - С. 21-29.

2. Мельник, С.Г. Производство качественной стали с внепечным полиреагентным рафинированием / С.Г. Мельник // *Литье. Metallургия 2017: материалы XIII междунар. науч.-практ. конф., Запорожье, 25-28 мая 2017 г.* / Запорож. торг.-пром. палата, под ред. О.И. Пономаренко. - Запорожье, 2017. - С. 354-356.
3. Повышение стойкости футеровки агрегатов внепечной обработки стали / А.А. Метелкин [и др.]. - Нижний Тагил: НТИУрФУ, 2015. - 144 с.
4. Внепечная обработка стали отходами от переработки вторичного алюминия / Л.В. Трибушевский [и др.] // *Литье и металлургия.* - 2018. - № 1. - С. 100-105.
5. Бердников, В.И. Условия образования диоксинов при высокотемпературном сжигании хлорсодержащих материалов / В.И. Бердников, Ю.А. Гудин // *Известия вузов. Черная металлургия.* - 2015. - Т. 58. - № 2. - С. 77-82.
6. Стабилизация рафинировочных шлаков путем корректировки их фазового состава / О.Ю. Шешуков [и др.] // *Сталь.* - 2016. - № 5. - С. 12-15.