



Д. Т. Н. О. Ю. Шешуков¹, К. Т. Н. И. В. Некрасов¹,
К. Т. Н. М. А. Михеенков¹ (✉), Д. К. Егизарьян¹,
К. Г.-М. Н. Л. А. Овчинникова¹, К. Т. Н. А. А. Метёлкин²,
Д. Т. Н. И. Д. Кашеев³, Д. Т. Н. В. С. Цепелев³

¹ ФГБУН «Институт металлургии УрО РАН», г. Екатеринбург, Россия

² НТИ(ф) ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Нижний Тагил, Россия

³ ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

УДК 666.762.3.017:620.169.1]:669.141

ШЛАКОВЫЙ РЕЖИМ АГРЕГАТОВ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ И СТОЙКОСТЬ ОГНЕУПОРОВ*

Для повышения стойкости футеровки агрегатов внепечной обработки стали необходима оптимизация состава ковшевого шлака, который, с одной стороны, подвергает огнеупоры химическому износу, а с другой — способен при определенных составах формировать защитный шлаковый гарнисаж. Подобраны огнеупоры для наиболее изнашиваемой части футеровки вакуум-камер в условиях ОАО ЕВРАЗ НТМК, поскольку только выравняв скорость износа огнеупоров по периметру футеровки с помощью ее дифференцированной конструкции, можно ожидать эффекта от оптимизации состава шлака. Подобран рациональный состав шлака с повышенным содержанием MgO и Al_2O_3 , который способствует осаждению на шпинельных огнеупорах составов $MgO \cdot Cr_2O_3$ и $MgO \cdot Al_2O_3$ защитного шлакового гарнисажа состава $MgO \cdot Al_2O_3$.

Ключевые слова: дизайн футеровки, вакуум-камера, гарнисаж, шпинель, температура шлака.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работ по повышению ресурса футеровок сталеплавильных агрегатов не вызывает сомнений. Стойкостью огнеупоров во многом определяется экономичность и безопасность производства [1].

На современных крупных предприятиях, например ОАО ЕВРАЗ НТМК, доля затрат на приобретение огнеупоров для внепечной (ковшевой) обработки стали превышает 30 % от общих расходов на огнеупорные материалы [2, 3]. Важность вопроса повышения стойкости именно агрегатов внепечной обработки стали объясняется их решающим влиянием на качество стали [3, 4]. В агрегатах ковш-печь (АКП) и вакууматорах жидкая сталь обрабатывается рафинировочным шлаком, что обеспечивает удаление серы, кислорода и неметаллических включений (НВ).

Опыт показал, что состав рафинировочного шлака влияет на стойкость огнеупоров [2, 3, 5]. Происходит это потому, что основной износ огнеупорных изделий (около 2/3) осуществляется химическим путем — растворением в шлаке [1]. В результате возникает задача подбора составов ковшевых рафинировочных шлаков со сниженной

агрессивностью к огнеупорам. Ясно, что подбор рациональных составов осложняется требованием к обеспечению достаточных рафинирующих свойств. Оптимизация шлакового режима агрегатов внепечной обработки комплексная задача.

Однако ожидать стабильного эффекта от оптимизации состава шлака можно, только если за счет дизайна конструкции снизить остроту проблемы «горячих зон» по периметру футеровки. Иначе шлак повлияет на стойкость наименее напряженных зон, в которых износ контролируется только химическим взаимодействием шлака и огнеупора. В зонах, где износ интенсифицируется механически или термически, влияние шлака будет меньше. Стойкость конструкции в целом определяется именно «горячими зонами». Поэтому прежде всего следует рассмотреть резервы совершенствования дизайна футеровок.

В случае вакуум-камер наиболее проблемный участок — впускной патрубок (рис. 1). Его износ интенсифицируется гидродинамическими и термическими факторами. Для повышения стойкости проблемных зон футеровки вакуум-камер в ОАО ЕВРАЗ НТМК были проведены следующие мероприятия:

1. Изменена геометрия патрубков вакуум-камеры путем увеличения толщины внутренней футеровки патрубков со 150 до 180 мм, что позволило повысить срок эксплуатации огнеупора и, следовательно, количество вакуумированных плавок. Увеличено число сопел тракта нейтрального газа с 10 до 12. Изменено расположение форсунок на взаимно противоположное. В результате снижено динамическое воздействие

* По материалам Международной конференции огнеупорщиков и металлургов (19–20 марта 2015 г., Москва).

✉
М. А. Михеенков
E-mail: silast@mail.ru

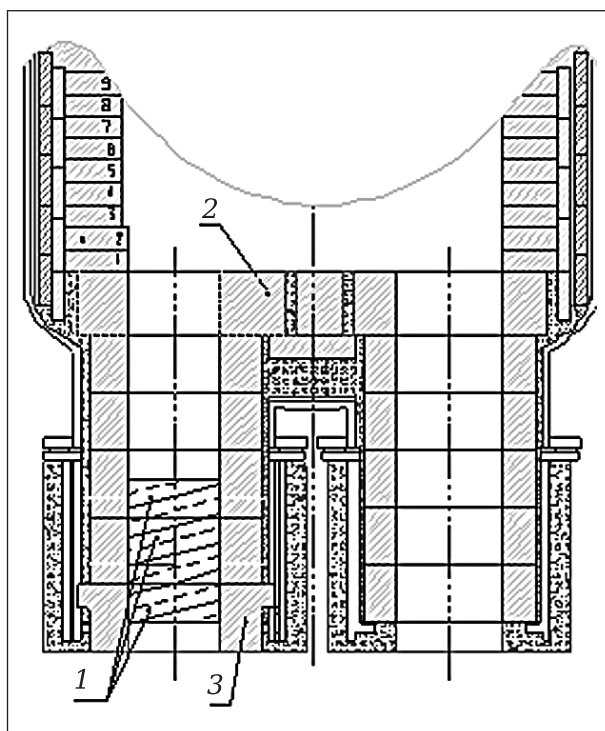


Рис. 1. Схема футеровки нижней части вакуум-камеры: 1 — зона интенсивного износа; 2 — усиление в районе перемычки; 3 — новая Г-образная форма огнеупорного кольца

струи аргона на внутреннюю футеровку впускного патрубка.

2. Введено усиление в футеровку в районе перемычки для предотвращения разрушения верхнего кольца за последующим его вымыванием и прекращением эксплуатации вакуум-камеры. Такой износ футеровки был причиной около 15 % преждевременного вывода вакууматора на ремонт.

3. Предложена новая конструкция патрубков вакууматора, позволяющая уменьшить раскрытие их горизонтальных швов. Патрубки находятся в наиболее жестких условиях эксплуатации. В результате происходит смещение огнеупорных колец, из которых выполнена внутренняя футеровка, и раскрытие горизонтальных швов. Особенность новой схемы футеровки заключается в том, что нижние огнеупорные кольца в патрубках вакууматора Г-образной формы (см. рис. 1).

Следующим этапом оптимизации дизайна футеровки стал подбор огнеупоров с максимальной стойкостью. Опытным путем было установлено, что наибольший ресурс имеют изделия с высокой механической прочностью и низкой открытой пористостью [2, 3, 5]. По-видимому, этот факт можно объяснить тем, что изделия с наилучшим сочетанием показателей прочности и пористости позволяют уменьшить негативное влияние шлака на огнеупоры (пропитка и растрескивание) и обеспечить более полную реа-

лизацию его защитных свойств через формирование гарнисажа. Имея улучшенный дизайн футеровки, проще добиться того, чтобы защитные свойства шлака были максимальными без потери рафинирующих свойств.

Проведенные исследования показали, что в этом направлении есть интересные возможности комплексной оптимизации шлакового режима, которая позволит снизить агрессивность шлаков по крайней мере к трем видам огнеупоров одновременно: магнезиальным и шпинельным на основе $MgO \cdot Al_2O_3$ и $MgO \cdot Cr_2O_3$. Огнеупоры таких составов используются в дифференцированной футеровке агрегатов ковшевой обработки стали: в ковшах и вакуум-камерах, в элементах футеровки, которые контактируют с одним и тем же шлаком. Поэтому корректировка состава шлака снизит его агрессивность ко всем элементам футеровок, а шлаки не потеряют рафинирующих свойств.

В ОАО ЕВРАЗ НТМК рабочую футеровку сталеразливочного ковша выполняют дифференцированно: шлаковый пояс — из периклазоуглеродистых изделий, стены и дно — из шпинельных алюмопериклазоуглеродистых; футеровку вакуум-камер — из шпинельных периклазохромитовых изделий.

Факт снижения агрессивности шлаков с повышенным содержанием MgO к магнезиальным огнеупорам известен [1]. В то же время можно показать, что введение в магнезиальный шлак Al_2O_3 (примерно до 20 %) дополнительно снижает агрессивность шлака к огнеупорам. Это объясняется усилением тенденции к формированию шпинельного гарнисажа ($MgO \cdot Al_2O_3$) на шпинельных огнеупорах. С точки зрения теории выделение шпинели происходит из-за превышения термодинамической активности группировок $MgO \cdot Al_2O_3$ в жидком шлаке над активностью насыщения. Далее представлены результаты подобных расчетов. В табл. 1 приведены составы ковшевых шлаков ОАО ЕВРАЗ НТМК, использованные при расчете, на рис. 2 показаны результаты расчетов, которые проведены по методике [6].

При повышении содержания в шлаке MgO и Al_2O_3 возрастает термодинамический стимул к выделению кристаллов шпинели $MgO \cdot Al_2O_3$ из жидкого шлака (см. рис. 2). Если в системе присутствует подложка материала с аналогичной структурой (шпинельный огнеупор), то это выделение ускоряется.

Таблица 1. Составы ковшевых шлаков, использованных при расчете, мас. %

Шлак	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO
1	66,5	16,5	9,9	6,0
2	62,1	15,9	13,6	6,5
3	60,4	15,6	15,4	6,8
4	58,7	15,4	17,0	7,1
5	57,2	15,2	18,6	7,3

Для экспериментального подтверждения факта осаждения шпинельного гарнисажа на алюмопериклазоуглеродистых огнеупорах был проведен рентгеноструктурный анализ области перехода шлак – огнеупорное изделие методом послойного снятия с поверхности огнеупора, на которой происходило взаимодействие шлака и самого огнеупора. Результаты съемки и расшифровки, а также количественная оценка присутствующих фаз представлены на рис. 3.

Содержание шпинели $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ в переходном гарнисажном слое выше, чем в слое огнеупора, созданном на основе $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Различается содержание глинозема и углерода и т. д., т. е. шпинель намораживалась в гарнисаж из шлака. Следовательно, гарнисаж шлакового происхождения.

Более ранними исследованиями [1] было показано, что защитная шпинель осаждается и на огнеупорах с основой из $\text{MgO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$, что объясняется структурным соответствием соединений. Таким образом, может быть предложена перспективная схема взаимосвязанной организации шлакового режима и конструкции футеровки агрегатов ковшевой обработки стали: повысив содержание MgO и Al_2O_3 в шлаке, можно снизить его агрессивность к периклазоуглеродистым ($\text{MgO} \cdot \text{C}$) огнеупорам, которыми чаще всего футеруется шлаковая зона ковша, а также обеспечить формирование шпинельного гарнисажа на огнеупорах на основе не только $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, но и $\text{MgO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$. В этом случае охватываются все элементы футеровок агрегатов внепечной обработки, включая РН-вакууматоры, поскольку их футеровка выполняется из огнеупоров на основе $\text{MgO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$. Рафинирующие свойства ковшевых шлаков при повышении содержания MgO до предела насыщения и Al_2O_3 до 18–25 % не ухудшаются, а возможности дифференцированной футеровки разных агрегатов (АКП и вакууматор) раскрываются более полно [2–6].

Проведены промышленные испытания высокоглиноземистых шлакообразующих техногенных отходов, которые использовали при обработке стали на АКП с целью замены плавикового шпата (табл. 2) и повышения в ковшевых шлаках содержания глинозема. Один из материалов имел повышенное содержание MgO .

Степень десульфурации на опытных плавках была выше, чем на сравнительных (42,9 % против 35,0 %). Повысилась стойкость футеровки вакуум-камер с 69,8 до 97,3 плавки (в среднем на 39,4 %). Ресурс ковшей во время опытной кампании составил 54,0 плавки, при средней стой-

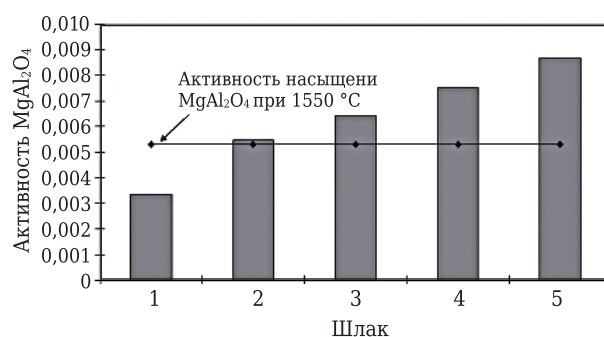


Рис. 2. Сопоставление термодинамической активности $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ в шлаках 1–5 и активности выделения кристаллов MgAl_2O_4

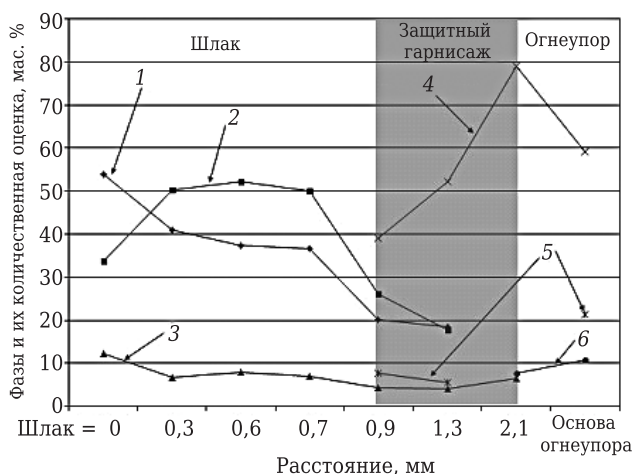


Рис. 3. Изменение фазового состава огнеупорной футеровки при удалении от рабочей поверхности огнеупора: 1 — $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$; 2 — $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$; 3 — MgO ; 4 — $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$; 5 — Al_2O_3 ; 6 — C (графит)

кости футеровок данного типа 49,7 плавки (прирост 8 %).

Одним из факторов, влияющих на стойкость футеровки ковшей, является содержание в ковшевых шлаках FeO (окисленность шлака), которое влияет также на степень рафинирования металла. Наличие в материале СЕАЛ и К металлического алюминия позволило раскислять ковшевые шлаки, что, вероятно, объясняет больший эффект по десульфурации и стойкости футеровки при использовании материала СЕАЛ и К.

Предварительно для определения рационального расхода флюса оценивали влияние флюса на вязкость ковшевых шлаков. Известно, что для обеспечения хороших рафинирующих свойств шлак должен обладать низкой вязкостью. Таким требованиям отвечают гомогенные шлаки [6]. Традиционно для гомогенизации ковшевого шлака используют плавиковый шпат.

Таблица 2. Химический состав материалов РАНТАЛ и глиноземсодержащих брикетов СЕАЛ и К, мас. %

Материал	TiO_2	$\text{Al}_{\text{мет}}$	Al_2O_3	SiO_2	CaO	MgO	Fe_2O_3	Na_2O	K_2O	Хлориды	$\Delta m_{\text{прк}}$
Рантал	1,98	–	72,10	20,00	0,71	0,70	2,05	0,52	0,31	–	2,95
СЕАЛ и К	–	3,20	55,70	6,04	1,91	12,6	2,74	4,30	3,70	8,10	11,90

Однако его применение имеет ряд существенных недостатков: фторид кальция чрезвычайно ускоряет разъедание футеровки сталеразливочных ковшей и вакуум-камер; при высоких температурах происходит частичное испарение CaF_2 , приводящее к ухудшению экологической обстановки.

Разжижать шлак понижением его основности нецелесообразно. Увеличение содержания SiO_2 негативно отразится на серопоглотительной способности шлака и его агрессивности к основной футеровке. Известен опыт использования глиноземистых шлакообразующих при внепечной обработке, однако зачастую при их применении не всегда удается избежать использования плавикового шпата. Для выяснения причин был определен характер изменения технологических свойств шлака — вязкости и степени гетерогенности (содержания в нем твердых частиц) в зависимости от массы вводимого в ковш глиноземсодержащего материала СЕАЛ и К.

Были отобраны 11 проб шлака из ковша при внепечной обработке стали и рассчитаны показатели их свойств — степень гетерогенности и

вязкость (рис. 4 и 5). Расчеты проводили по усовершенствованному алгоритму полимерной модели оксидных расплавов [6].

Из данных, представленных на рис. 4, следует, что половина шлаков гетерогенна и имеет повышенную вязкость. Для определения возможностей гомогенизации шлаков путем добавки в них глинозема рассчитали эффект от ввода в исходные шлаки флюса (см. рис. 5).

При большем расходе флюса вязкость шлаков практически не меняется, что означает бесполезный перерасход флюса. При его добавке около 250 кг шлаки гомогенизируются, и их вязкость стабилизируется примерно на одинаковом уровне, что исключает необходимость добавлять плавиковый шпат, так как случаев резкого повышения вязкости шлаков нет. Снижение гетерогенности шлака происходит вследствие увеличения содержания Al_2O_3 , который повышает растворимость CaO . Рафинирующие свойства шлака при этом, как показала практика, даже увеличиваются, что дает возможность снизить продолжительность обработки и тем самым дополнительно повысить стойкость огнеупоров.

Важным фактором эффективности Al_2O_3 является влияние на поверхностное натяжение шлака. Отмечалось, что увеличение содержания в нем Al_2O_3 приводит к повышению поверхностного натяжения и натяжения на границе с металлом, т. е. глиноземистые шлаки хуже смачивают огнеупоры и сталь (рис. 6) [7–11]. Это приводит к тому, что глиноземистый шлак слабее пропитывает и разрушает огнеупор, а также к тому, что капли шлака меньше запутываются в стали, а капли стали в шлаке. Снижается содержание в шлаке вредных оксидных включений и уменьшаются потери металла в виде его капель в шлаке.

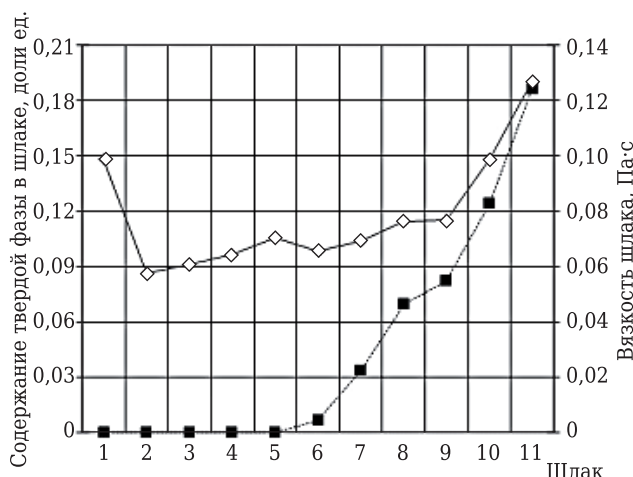


Рис. 4. Степень гетерогенности и вязкость исходных ковшевых шлаков 1–11: ■ — содержание твердой фазы в шлаке; ◇ — вязкость шлака

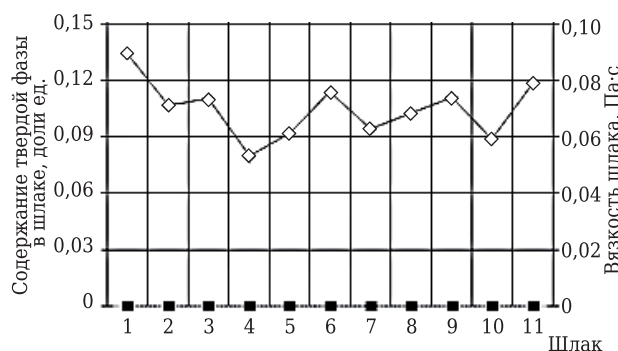


Рис. 5. Степень гетерогенности и вязкость исходных ковшевых шлаков при добавке в ковш 250 кг флюса: ■ — содержание твердой фазы в шлаке; ◇ — вязкость шлака

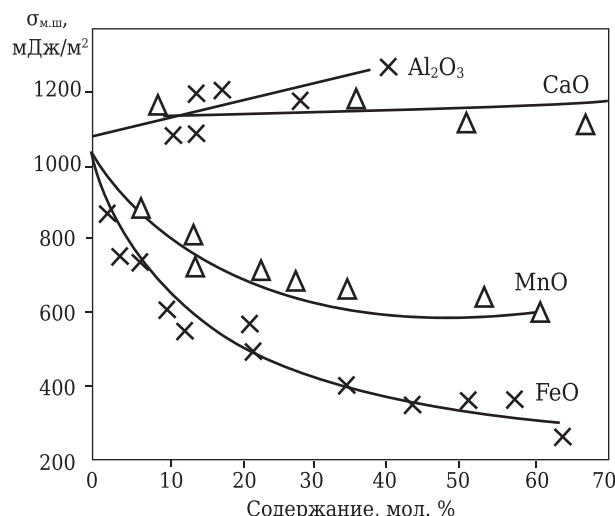


Рис. 6. Влияние отдельных компонентов на межфазное натяжение $\sigma_{\text{м.ш}}$ на границе шлака $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ с жидким железом [9]

Поскольку часть включений представляет собой проникший в огнеупоры шлак, то, меняя состав шлака, можно влиять на их свойства. Например, раскисляя шлак флюсом (снижая содержание в нем FeO и MnO, а также повышая содержание Al_2O_3), можно значительно повысить межфазное натяжение на границе металл – включение. В результате включения будут легче отделяться от металла и удаляться из него [9]. Еще одно положительное следствие раскисления шлака алюминием — снижение плотности капель шлака. Дело в том, что FeO и MnO существенно тяжелее Al_2O_3 [10], поэтому раскисленные глиноземистые капли быстрее всплывают и удаляются из металла в шлак.

Влияние футеровки и плохо раскисленного шлака на качество стали иллюстрируется еще одним фактом. В табл. 3 представлены составы футеровки шлакового пояса в начале и конце кампании ковша [12].

Видно, что состав огнеупора изменен шлаком значительно. Причем с точки зрения качества металла наиболее опасно изменение по содержанию FeO. Футеровка, пропитанная плохо раскисленным шлаком, является окисляющей фазой для стали. Например, на рис. 7 показана зависимость растворимости кальция в стали под шлаками разной окисленности. Видно, что при наличии окисляющей фазы невозможно достичь приемлемых значений концентрации кальция [13]. Ясно, что флюс, раскисляющий шлак, позволит повысить степень усвоения модификаторов (в данном примере кальция) и качество стали.

В расчетах по взаимодействию шлака и огнеупора необходимо учитывать один малоизвестный факт. В дуговых сталеплавильных печах при толщине шлака, превышающей длину дуги, значительная часть тока проходит через шлак и тот перегревается [14–16]. Перегрев шлака на 70–100 °С превышает температуру металла, хотя местами шлак нагревается до 1800 °С [16]. Температура в зоне контакта огнеупора и шлака неизвестна.

В АКП также используется дуговой нагрев, поэтому было необходимо оценить, в каких температурных условиях существует зона контакта огнеупора и ковшевого шлака. На АКП-160 были проведены замеры температур метал-

Таблица 3. Химический состав рабочего слоя футеровки сталеразливочного ковша по шлаковому поясу [12], мас. %

Огнеупор	C	CaO	MgO	Al_2O_3	SiO_2	MnO	FeO	Прочие
Новый	5,0	—	90,0	4,0	—	—	—	1,0
После службы	—	32,2	15,9	8,5	29,6	5,9	5,4	2,5

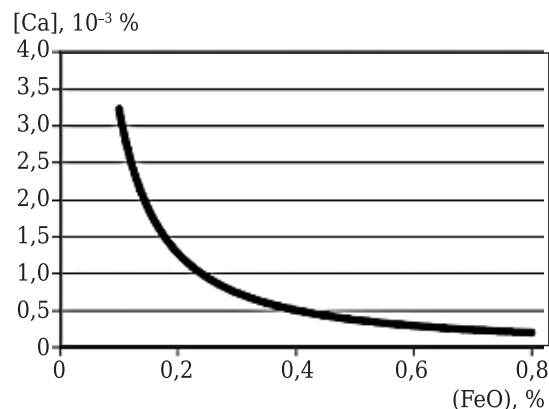


Рис. 7. Равновесное содержание кальция в стали в зависимости от окисленности шлака и гарнисажа [13]

ла и шлака вблизи электродов и на расстоянии 10 см от борта сталеразливочного ковша. Установлено, что после окончания нагрева плавки на АКП температура шлака превышает температуру металла более чем на 55 °С. Далее в течение 3 мин после нагрева металла температуры металла и шлака уравниваются. Температура шлака возле футеровки ковша меньше на 10 °С вне зависимости от периода нагрева металла. Пример температурного режима системы металл – шлак – огнеупор для группы сталей высокоуглеродистых марок представлен на рис. 8.

По-видимому, температурные условия в зоне контакта меняются от плавки к плавке в зависимости от длительности периодов нагрева металла.

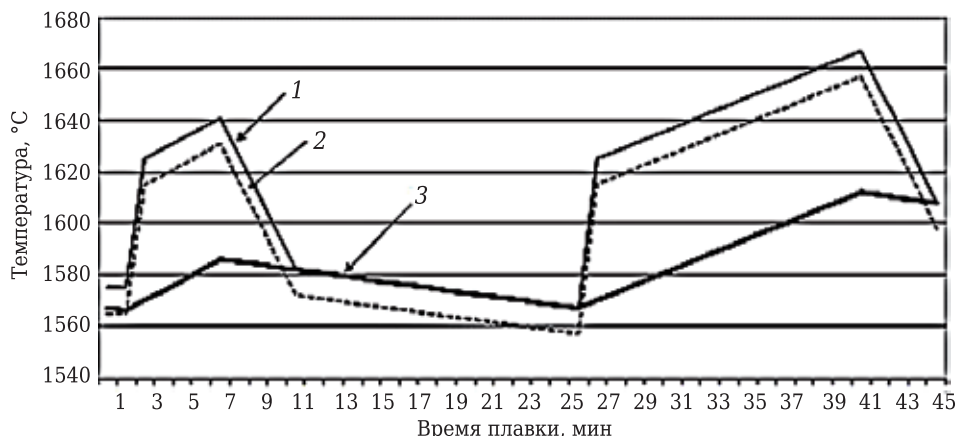


Рис. 8. Температурные режимы металла и шлака при обработке сталей высокоуглеродистых марок, подвергающихся обработке в RH-вакууматоре. Температура: 1 — шлака; 2 — шлака возле футеровки; 3 — металла

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существует необходимость оптимизировать дизайн дифференцированных футеровок агрегатов внепечной обработки стали. Мероприятия, направленные на решение этой задачи, позволят в большей мере раскрыть возможности технологии наведения шлакового гарнисажа. Описаны мероприятия по внедрению эффективной дифференцированной футеровки агрегатов внепечной обработки стали в условиях ОАО ЕВРАЗ НТМК. Подобран рациональный состав ковшевого шлака с повышенным содержанием

Библиографический список

1. **Стрелов, К. К.** Теоретические основы технологии огнеупорных материалов : уч. пособие для вузов / К. К. Стрелов, И. Д. Кащеев ; 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Metallurgia, 1996. — 608 с.
2. **Метёлкин, А. А.** Оценка влияния агрессивности технологических факторов на износ алюмопериклазоуглеродистых изделий, применяемых в футеровке сталеразливочного ковша / А. А. Метёлкин, О. Ю. Шешуков, В. В. Левчук [и др.] // Сталь. — 2013. — № 4. — С. 29–31.
3. **Metelkin, A. A.** Extending the lining life in circulatory vacuum units at OAO EVRAZ NTKM / A. A. Metelkin, O. Yu. Sheshukov, I. V. Nekrasov [et al.] // Steel in Translation. — 2013. — Vol. 43, № 9. — P. 593–596
4. **Шешуков, О. Ю.** Оперативный контроль динамики окисленности и толщины шлака при обработке стали на агрегате ковш-печь / О. Ю. Шешуков, И. В. Некрасов, А. В. Сивцов [и др.] // Сталь. — 2014. — № 1. — С. 14–16
5. **Sheshukov, O. Yu.** Improving the durability and reliability of vacuum-chamber linings / O. Yu. Sheshukov, S. V. Vinogradov, E. A. Visloguzova [et al.] // Steel in Translation. — 2012. — Vol. 42, № 1. — P. 45–47.
6. **Nekrasov, I. V.** Assessing the viscosity of industrial slags / I. V. Nekrasov, O. Yu. Sheshukov, V. N. Nevidimov [et al.] // Steel in Translation. — 2012. — Vol. 42, № 4. — P. 302–304.
7. **Попель, С. И.** Теория металлургических процессов : уч. пособие для вузов / С. И. Попель, А. И. Сотников, В. Н. Бороненков. — М. : Metallurgia, 1986. — 463 с.
8. Атлас шлаков : справ. изд. ; пер. с нем. — М. : Metallurgia, 1985. — 208 с.
9. **Поволоцкий, Д. Я.** Физико-химические основы процессов производства стали : уч. пособие для вузов / Д. Я. Поволоцкий. — Челябинск : ЮУрГУ, 2007. — 183 с.

MgO и Al_2O_3 , который способствует осаждению на алюмопериклазовых и хромитопериклазовых огнеупорах защитного шлакового гарнисажа состава $MgO \cdot Al_2O_3$.

* * *

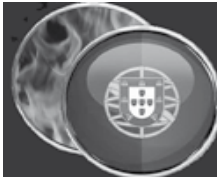
Прикладные научные исследования (проект) проводятся при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России по Соглашению № 14.604.21.0097 о предоставлении субсидии от 08.07.2014 (Уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI60414X0097).

10. **Явойский, В. И.** Теория процессов производства стали : монография / В. И. Явойский. — М. : Metallurgia, 1967. — 791 с.
11. **Есин, О. А.** Физическая химия пирометаллургических процессов : монография. Ч. 2. / О. А. Есин, П. В. Гельд. — М. : Metallurgia, 1966. — 703 с.
12. **Кабатина, Ю. В.** Разработка усовершенствованной технологии обработки на агрегате «ковш-печь» стали, разливаемой на сортовых МНЛЗ : дис. ... канд. техн. наук. — Магнитогорск, 2010. — 120 с.
13. **Кузнецов, С. Н.** Исследование физико-химических особенностей формирования продуктов раскисления малоуглеродистых низкокремнистых сталей в связи с проблемами их разливаемости на сортовых МНЛЗ : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Москва, 2009. — 25 с.
14. **Sheshukov, O. Yu.** Electric characteristic of steel-making electric furnace and the process control / O. Yu. Sheshukov, I. V. Nekrasov, A. V. Syvtsov [et al.] // Applied Mechanics and Materials 268. P. 1. — 2013. — P. 1376–1379.
15. **Zuev, M. V.** Influence of intensified electrosmelting on the lining life of the DSP-135 arc furnace at OAO Severskii Trubnyi Zavod / M. V. Zuev, O. Yu. Sheshukov, A. I. Stepanov [et al.] // Steel in Translation. — 2011. — Vol. 41, № 7. — P. 599–602.
16. **Мерц, М.** Новые данные по использованию пенящего шлака при выплавке высокохромистых сталей / М. Мерц, Т. Пунер, В. Штейн [и др.] // Черные металлы. — 2006. — № 6. — С. 46–49. ■

Получено 19.03.15

© О. Ю. Шешуков, И. В. Некрасов, М. А. Михеенков, Д. К. Егизарьян, Л. А. Овчинникова, А. А. Метёлкин, И. Д. Кащеев, В. С. Цепелев, 2015 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



Portugal Heat Treatment Congress 2015
Conferência
Tratamentos Térmicos
Tratamentos Térmicos de Soldaduras 9 Outubro 2015
COIMBRA
PORTUGAL

Португальский конгресс по термообработке 2015

9 октября 2015 г.

E-mail: portugal@metalspain.com

г. Коимбра, Португалия