

## АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ЗАТЯГИВАНИЯ ПОГРУЖНЫХ СТАКАНОВ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ СТАЛИ

*М.С. Лукавая, Г.Г. Михайлов*

Наиболее ответственным устройством огнеупорного канала МНЛЗ является узел стакан-дозатор - погружной стакан. Металл из ковша в кристаллизатор подают с помощью погружного стакана и регулируют стопором-моноблоком. Основными причинами выхода погружных стаканов из эксплуатации являются: эрозионный износ в зоне шлакового пояса и истечения струи, зарастание внутренней полости неметаллическими фазами в зоне выходного отверстия и растрескивание верхней части изделия, связанное с подсосом воздуха в стык между стаканом-дозатором и погружным стаканом, а также образование продольных сквозных трещин при термоударе (недостаточный подогрев стакана перед разливкой). Поэтому исследование условий образования неметаллических фаз на внутренней поверхности погружного стакана и стакана-дозатора является необходимым для обеспечения режима бесперебойной работы МНЛЗ.

По мнению многих исследователей, отложения на внутренней поверхности погружного стакана могут существенно отличаться как по физическим свойствам (начиная с достаточно рыхлых зон и заканчивая зонами прочных кристаллов корунда), так и по химическому составу (алюминаты и алюмосиликаты кальция типа  $\text{CaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ , а также шпинелиды переменного состава - от герцинитового до магнетитового и пр.) [1-3]. В таких отложениях может также наблюдаться повышенное содержание «корольков» металла, имеющих в основном округлую форму. Следовательно, есть основание утверждать, что отложения на внутренней поверхности погружного стакана являются результатом дополнительного загрязнения стали, которое происходит уже непосредственно в ходе разливки.

Выполненные практические наблюдения и оценка характера расположения зон отложений во внутренней полости погружных стаканов [4] позволили установить общие закономерности:

- отложения алюминатов более ярко проявляются при повышенном содержании алюминия в стали;

- зоны наибольшего количества отложений обычно располагаются от области, соответствующей положению уровня металла в кристаллизаторе, до нижнего среза для прямоточных погружных стаканов или до внешней поверхности для глухонных изделий с боковыми отверстиями;

- весьма часто зоны максимального количества отложений в горизонтальном сечении не являются симметричными;

- для глухонных погружных стаканов с бо-

ковыми отверстиями нередко отмечалась несимметричность в зарастании отверстий (одно отверстие зарастает больше другого);

- при разливке на многоручьевых МНЛЗ (4- или 6-ручьевые) установлен также факт неодинакового (по скорости и характеру) зарастания погружных стаканов на разных ручьях.

Авторы работы [5] считают, что закупоривание канала происходит в результате кристаллизации расплава, имеющего более низкую температуру, и недостаточного прогрева стакана. Другой причиной [6] считают отложения оксида алюминия, которые образуются в результате как взаимодействия металла с поверхностью огнеупора, так и выделения продуктов раскисления стали на поверхности стакана.

В работе [7] причиной зарастания считают выделение на поверхности каналов крупных комплексов сложного состава (кластерные включения - КВ), основным компонентом которых являются оксиды алюминия и железа. Анализ отложений на внутренней поверхности погружного стакана показал, что в их состав входит не только  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , что можно ожидать в соответствии с литературными данными, но и значительное количество оксидов железа, а также оксиды ( $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ), которые присутствуют только в покровном шлаке сталеразливочных и промежуточных ковшей, отмеченное в работе [7]. Отсутствие в составе КВ металлического железа свидетельствует о том, что природа процесса зарастания определяется выделением отложений на стенках стакана, то окончательный результат зависит от количества включений в стали, т.е. от режимов раскисления и рафинирования расплава.

Установлено [8], что проникновение в огнеупор продуктов раскисления металла - оксидов  $\text{Al}$ ,  $\text{Si}$ ,  $\text{Fe}$  и металлоидной фазы идет по порам и трещинам, что приводит к их взаимодействию с компонентами огнеупора, главным образом связкой, и обуславливает увеличение количества стеклофазы и образование более легкоплавких продуктов: оливина, фаялита и заэвтектоидных расплавов в системе  $\text{MgO}-\text{FeO}-\text{SiO}_2$  и  $\text{CaO}-\text{FeO}-\text{SiO}_2$ , которые смываются струей металла, образуя оплавленную корочку рабочей поверхности вставки-дозатора. Вместе с тем эти процессы не вызывают значительного износа сталеразливочного отверстия вставок-дозаторов при разливке стали.

В условиях реальной службы глиноземистый нарост был обнаружен на материалах, поверхность под микроскопом имела шероховатость. Шерохо-

ватость внутренней поверхности промышленных погружных стаканов после службы обычно составляла 30 мкм, т.к. она находилась в контакте со сталью в кристаллизаторе. Предположили, что глинозёмистый нарост образовался из примесей в стали, для которой были созданы хорошие условия контакта с поверхностью стакана и отложения на ней [9].

Авторами данной работы были проведены исследования кристаллизующихся на стенках корундографитовых и кварцевых погружных стаканов оксидных фаз, приводящих к зарастанию погружных стаканов и стаканов-дозаторов при разливке стали на МНЛЗ ЭСПЦ-6 Челябинского металлургического комбината. Исследования проводились при помощи электронного микроскопа JEOL LSM-6460LV, оснащённом анализирующими приставками «Oxford instruments».

Анализ нароста, образовавшегося на внутренней стенке корундографитового погружного стакана при разливке стали 3 показал, что он состоит из нескольких слоев (рис. 1), причем между материалом погружного стакана и наростом существует область с повышенной пористостью. Слой (1), примыкающий к стенке погружного стакана состоит преимущественно из мелкодисперсных оксидов железа. Второй слой (2) отложений состоит из большого количества крупных королек металла состава в вес. %: Al – 0,05; Si – 0,25; Mn – 0,39; Fe – 99,31, между которыми находились дендриты мелкодисперсных оксидов Fe, Mn, Ca, Si, Al ржавого цвета. Третий слой (3) – рыхлый, желто-белого цвета, состоящий из хрупких мелкодисперсных оксидов Ca, Mn, Mg, Si, Fe, Al, Ti.

В результате рентгеноструктурного фазового анализа настелей внутренней поверхности корундографитового стакана на дифрактометре ДРОН-3М обнаружены следующие фазы: корунд  $Al_2O_3$ , магнезиальная шпинель  $MgO \cdot Al_2O_3$ , гексоалюминат кальция  $CaO \cdot 6Al_2O_3$ , металлическая фаза  $Al_{13}Fe_4$ ,  $\alpha$ -Fe. Относительная интенсивность дифракцион-

ных максимумов перечисленных фаз меняется от внутренней поверхности стакана к образовавшимся наростам. Снижается интенсивность максимумов корунда, а интенсивность вновь образовавшихся фаз ( $MgO \cdot Al_2O_3$ ,  $CaO \cdot 6Al_2O_3$ ,  $Al_{13}Fe_4$ ) возрастает. Съемка дифрактограмм проводилась в Со-излучении с отсеиванием  $\beta$ -линий. При расшифровке использовалась картотека ASTM.

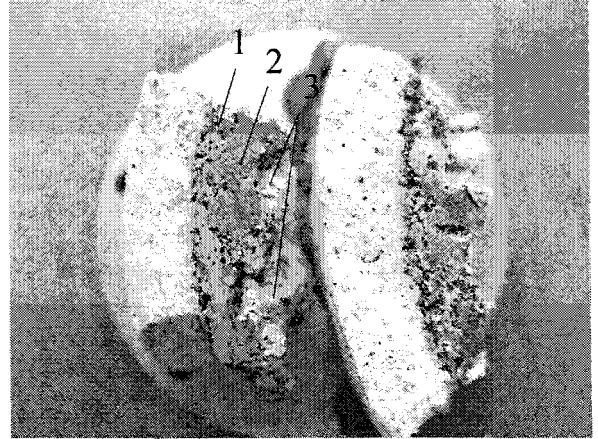


Рис. 1. Поперечный разрез корундографитового погружного стакана и отложения на нем

Исходя из анализа структуры наростов, можно сделать вывод, что образование неметаллических фаз происходит поверх оксидов железа, которые служат подложкой для образования других оксидных фаз (рис. 2-5). По сечению нароста концентрация оксидов алюминия, кальция, кремния, магния, марганца и железа меняется следующим образом: содержание кремния, магния и марганца уменьшается; кальция, алюминия – увеличивается.

При исследовании наростов на кварцевом погружном стакане при разливке стали А36 ([C]= 0,14; [Mn] = 0,53; [Si] = 0,22; [Cr] = 0,02; [Al] = 0,05) наблюдалась слоистая аналогичная структура, но более плотная (рис. 6-9).

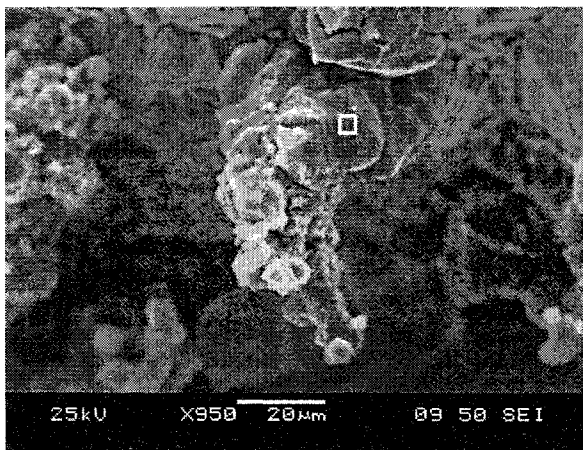


Рис. 2. Локальный состав внутри квадрата, вес.%

O	Al	Ca	Mn	Fe
4,92	3,11	0,38	1,08	90,51

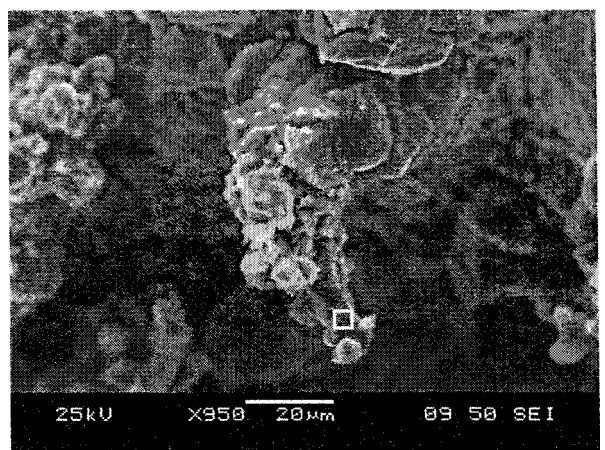


Рис. 3. Локальный состав внутри квадрата, вес.%

O	Mg	Al	Si	Ca	Mn	Fe
38,58	1,59	24,27	0,88	2,84	1,93	29,20

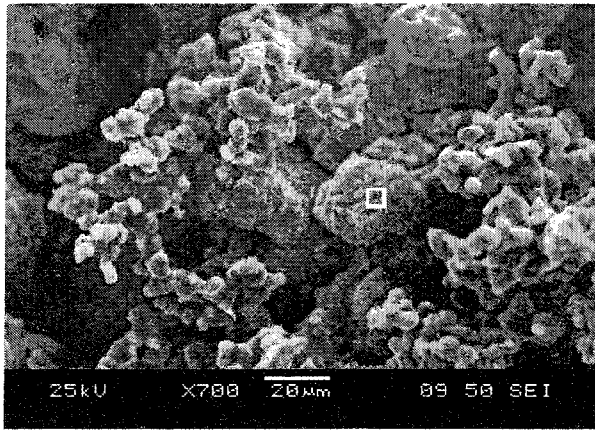


Рис. 4. Локальный состав внутри квадрата, вес. %

O	Al	Si	Ca	Mn	Fe
37	9,29	2,43	7,45	1,51	42,32

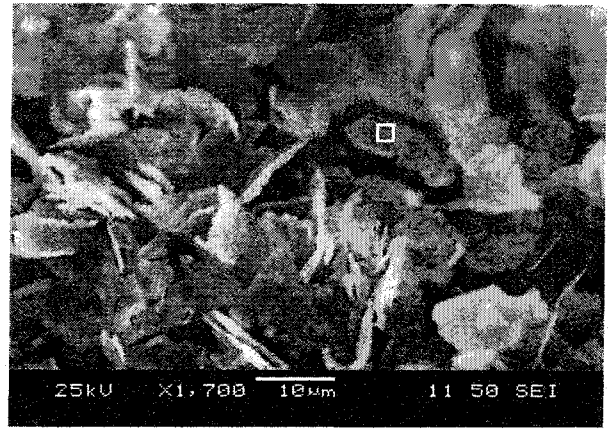


Рис. 5. Локальный состав внутри квадрата, вес. %

O	Mg	Al	Ca	Mn	Fe
49,39	1,56	40,16	5,11	0,57	3,20

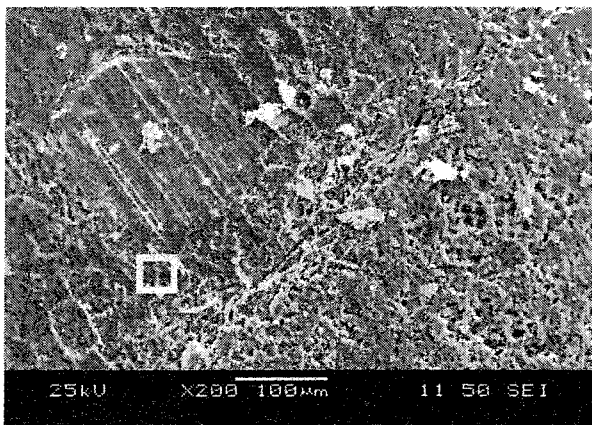


Рис. 6. Локальный состав внутри квадрата, вес. %

O	Al	Si	Ca	Mn	Fe
31,29	34,75	14,00	0,73	13,26	5,97

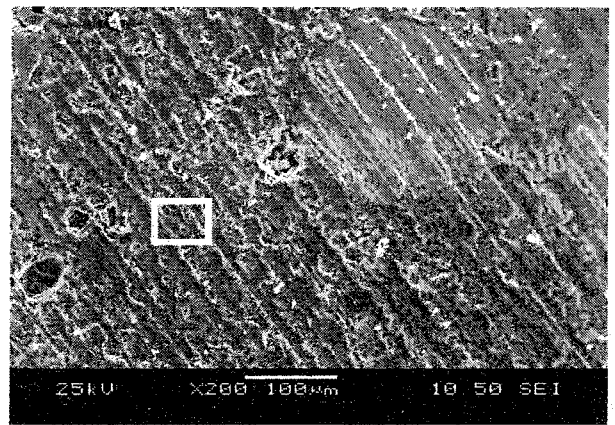


Рис. 7. Локальный состав внутри квадрата, вес. %

O	Al	Si	Ca	Ti	Mn	Fe
26,51	32,41	14,68	1,04	0,70	20,90	3,77

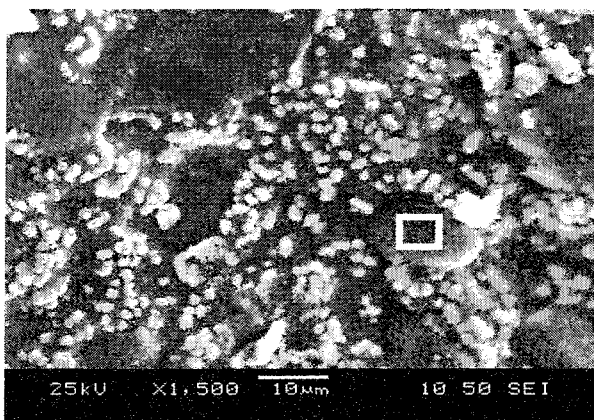


Рис. 8. Локальный состав внутри квадрата, вес. %

O	Al	Si	Ti	Mn
49,47	48,19	0,97	0,22	1,15

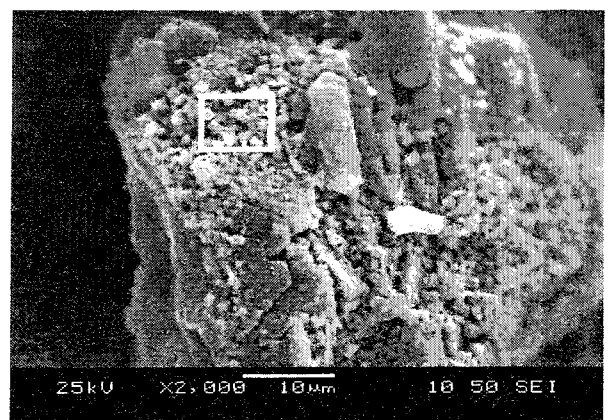


Рис. 9. Локальный состав внутри квадрата, вес. %

O	Mg	Al	Si	Ca	Mn	Fe
36,39	0,94	4,86	6,71	1,15	13,22	36,73

По результатам анализа минералогическую основу наростов составляют различные модификации кремнезема  $\alpha$ -кварц,  $\beta$ -кварц,  $\alpha$ -тридимит,  $\beta$ -кристобалит. Кроме них, в составе наростов об-

наружены соединения, содержащие марганец (тефроит  $Mn_2SiO_4$ , браунит  $3Mn_2O_3 \cdot MnSiO_3$ ), корунд  $Al_2O_3$  и  $\alpha$ -железо.

Проведенный анализ позволяет выдвинуть не-

сколько версий образования наростов неметаллических фаз:

1) состав нароста связан с составом металла и количеством, находящихся в нем сильных раскислителей (Ca, Al);

2) образование нароста связано с односторонней инъекцией кислорода на поверхность струи металла, что приводит к зарождению мелкодисперсного слоя оксидов железа. Последующий рост нароста связан с взаимодействием избыточного содержания кальция и алюминия с кислородом, который поступает внутрь струи с её поверхности, а также со снижением температуры струи и возникновением избыточных концентраций кислорода, алюминия, кальция и кремния, что приводит к образованию растущих поперек струи тугоплавких кристаллов;

3) механизм образования нароста напоминает выделение избыточной фазы из пересыщенных растворов;

4) затягивание канала стакана наблюдается вследствие образования вязкого контактного слоя, адгезия которого к огнеупору больше, чем к стали.

Заращение стаканов углеродистой системы меньше, чем оксидных, но и углеродистые стаканы заращаются. Независимо от состава стакана, его заращение связано с теплопроводностью. В более теплопроводных огнеупорах наблюдается резкое снижение температуры поверхности, что ускоряет заращение. Для уменьшения заращения стаканов рекомендуется некоторое увеличение температуры стали перед разливкой, увеличение диаметра канала стакана и продувка стали аргоном. Первые две рекомендации связаны с режимом работы МНЛЗ и не всегда могут быть реализованы. Инертный газ вдувают непосредственно в пористый стакан, или через пробку стопора, или в неподвижную плиту шибберного затвора. Несмотря на широкие возможности продувки, полностью предотвратить заращение стакана не удастся.

Исходя из анализа литературы по данному вопросу и проведенным исследованиям, можно предложить некоторые пути уменьшения образования наростов.

1. Необходимо уменьшить окисление струи металла между промежуточным ковшем и кристаллизатором путем уплотнения зазора между стаканом-дозатором и погружным стаканом. Через этот зазор возможно инжектирование кислорода из подсосываемого воздуха.

2. Окисление элементов-раскислителей стали возможно кислородом, находящимся в порах, и кислородом, доставляемым по порам из окружающего воздуха (фильтрация). Этот процесс имеет место при наличии открытой пористости в окисных стаканах (магнезитовых, шамотных, циркониевых и др.) и дозаторах (цирконовых, из двуокиси циркония и др.) [10]. Необходимо использовать газоплотные огнеупоры с тем, чтобы снизить

диффузию кислорода через разливочную керамику. Для различных марок сталей необходимо использовать химически инертную керамику из плавящихся огнеупоров.

3. Для каждой марки стали необходимо подбирать режим раскисления. Нельзя допускать избыточных количеств кальция и особенно алюминия в металле, чтобы избежать образования тугоплавких неметаллических включений в жидком металле. Необходимо также следить и за режимом магния.

### Литература

1. Гаук Ф., Петшке Ю. Износ погружных стаканов и образование отложений глинозема при непрерывной разливке стали// Огнеупоры для МНЛЗ: Тр. конф. - М.: Металлургия, 1986. - С. 62-75.

2. *Preventions of Nozzle During Clogging the Continuous Casting of Al-Killed Steels / V. Yves, C Bert, B. Bart ea. // Steelmaking Conference Proceedings. -2000. -P. 175-181.*

3. *Затягивание графитсодержащих погружных стаканов при разливке стали на МНЛЗ / Л.М. Аксельрод, М.Р. Барановский, Г.Г. Мельникова и др.//Огнеупоры. 1991. №12. - С. 29-33.*

4. *Процессы непрерывной разливки: Монография/ А.Н. Смирнов, В.Л. Пилюшенко, А.А. Минаев и др. -Донецк: ДонНТУ. - 2002. - 536 с.*

5. *Катаока С. Развитие огнеупоров для сталеплавильного производства в Японии// Тайкабуцу. - 1996. - Т. 48. -№5.- С. 212-227.*

6. *Очагова И.Г. Совершенствование глиноземографитовых погружных стаканов для УНРС в Японии// Новости черной металлургии за рубежом. - 1995. -№4.- С. 150-159.*

7. *Предотвращение заращения каналов сталеразливочных ковшей/ С.А. Горбовский, С.В. Казаков, С.В. Ефимов и др.// Сталь. - 2003. -№12.- С 16-18.*

8. *Применение отечественных составных стаканов-дозаторов в промежуточных ковшах МНЛЗ с малым сечением кристаллизатора/ Хашид Саед Раза, В.В. Примаченко, А.Г. Караулов и др.// Сталь. - 2002. -№8.- С. 43-44.*

9. *Разработка материалов для внешней поверхности погружных стаканов УНРС, стойких к адгезии глинозема. Development of anti-alumina build-up materials for inner surface of continuous caster submerged entry nozzle / Ohno F., Murot T., Oguri KJ/ Journal of the Technical Association of Refractories, Japan. - 2002. - 22. №1. - С 63-66. Англ. ОАО «Черметинформация». Новости черной металлургии за рубежом. - 2003. - № 1. - С. 87-90.*

10. *Устъянцев В.М. Взаимодействие стаканов с жидкой сталью// Взаимодействие огнеупоров с металлами и шлаками: Отраслевой тематический сб. науч. тр. -Л., 1978.-С. 52-58.*