

# Регулирование разливки стали на МНЛЗ

В последнее время на ряде металлургических предприятий при разливке сталей, раскисленных алюминием, сложилась тенденция, когда используемая технология модифицирования неметаллических включений не соответствует физико-химическому состоянию металла перед обработкой и не учитываются факторы, вызывающие изменение этого состояния впоследствии. В этом случае резко ухудшается разливка стали, что выражается в интенсивном зарастании стакан-дозаторов и погружных стаканов. На этих же предприятиях пытаются, в большинстве случаев безуспешно, решить проблему использованием стакан-дозаторов с антиклоггинговым покрытием, снижающим эффективность зарастания, и с защитным покрытием погружных стаканов. Применяется также продувка аргоном через стопор-моноблок.

В этой связи следует напомнить, что основным средством обеспечения разливки алюминием раскисленной стали является трансформация включений глинозема в жидкие алюминаты кальция [1]. Никакими другими способами (огнеупоры, продувка) в настоящее время эта проблема кардинально не решается.

При осуществлении технологии обработки стали кальцийсодержащими реагентами наиболее часто не придают значения двум факторам: использованию соотношения  $[Ca] / [Al]_{\text{общ}}$  без учета и контроля  $[Al]_{\text{окс}}$ ; вторичному окислению в огнеупорных проводках.

Проведенный анализ литературных источников показал, что в рекомендуемых соотношениях  $[Ca] / [Al]$  для предотвращения зарастания разливочных каналов наблюдаются заметные колебания как расчетных, так и промышленных данных. На фирме «Nippon Steel» [2], например, нижний предел соотношения  $[Ca] / [Al]_{\text{общ}}$  изменяется в пределах 0,05-0,085 (при верхнем 0,125) для различных марок стали. В то же время в работе [3] отношение  $[Ca] / [Al]_{\text{общ}}$  для успешной разливки металла рекомендуется в пределах 0,11-0,15. Это подтверждает вывод о необходимости уточнения рабочего способа обработки стали кальцием в условиях конкретного цеха, так как при одинаковом соотношении  $[Ca] / [Al]_{\text{общ}}$  в одних случаях разливка проходит без замечаний, а иногда наблюдаются случаи зарастания стаканов.

Наиболее важным параметром, своеобразным регулятором разливки металла, является соотношение  $[Ca] / [Al]_{\text{окс}}$ . Важно отметить, что при температурах непрерывной разливки стали (1550-1580 °С) алюминатные включения будут находиться в жидком виде при  $[Ca] / [Al]_{\text{окс}} = 0,8-1,6$ , что говорит о необходимости поддержания содержания  $[Al]_{\text{окс}}$  в стали на низком уровне (не более 0,002-0,003 %) в течение всей серии разливки.

Исследованиями, проведенными в работе [4], установлено, что при содержании кальция выше 30 ppm

На основании теоретических и экспериментальных данных установлено оптимальное соотношение  $Ca/Al_{\text{окс}}$  (0,8-1,6) при содержании  $[Al]_{\text{окс}}$  (не более 0,002-0,003 %) в течение всей серии разливки. Достигается с помощью отсечки шлака, предварительного раскисления металла карбидом кальция, диффузионным раскислением в период внепечной обработки, предотвращением вторичного окисления металла

в расплаве протекают в существенном объеме реакции, характер которых зависит от материала огнеупоров и отношения общего содержания кальция к содержанию оксидного алюминия, которые при определенных условиях могут приводить к размытию огнеупоров.

На рис. 1 представлена расчетная зависимость между содержанием  $Al_{\text{окс}}$  и  $[Ca]$  в стали для обеспечения разливки металла, а на рис. 2 представлено расчетное окно разливки металла в зависимости от содержания  $[Al]_{\text{общ}}$ ,  $[Al]_{\text{окс}}$  и  $[Ca]$ . Влияние содержания серы в стали на разливку в данном случае не рассматривается, предполагается, что содержание  $[S] \leq 0,015 \%$ .

Из рис. 1 видно, что при содержании в стали  $[Ca] = 0,0010 \%$  условия разливки металла будут

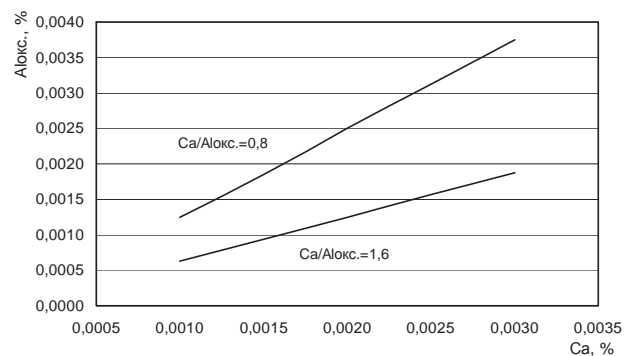


Рис. 1. Взаимозависимость между содержанием  $[Al]_{\text{окс}}$  и  $[Ca]$  в стали для обеспечения разливки металла

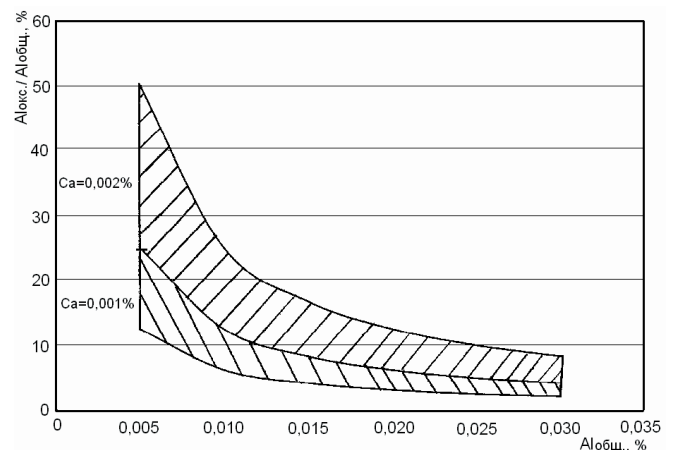
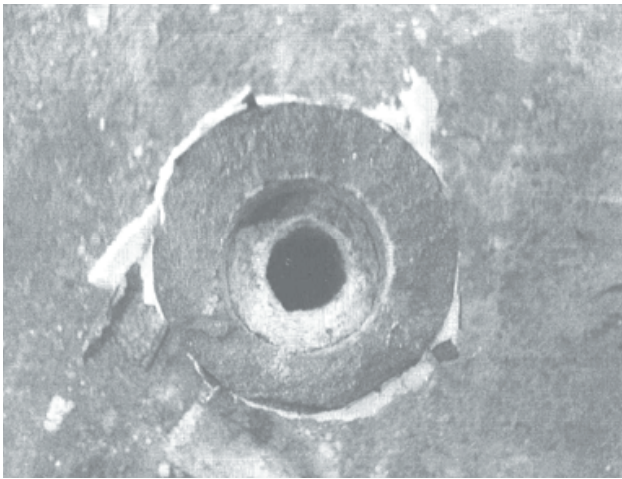


Рис. 2. Окно разливки металла в зависимости от содержания в стали  $[Al]_{\text{общ}}$ ,  $[Al]_{\text{окс}}$  и  $[Ca]$

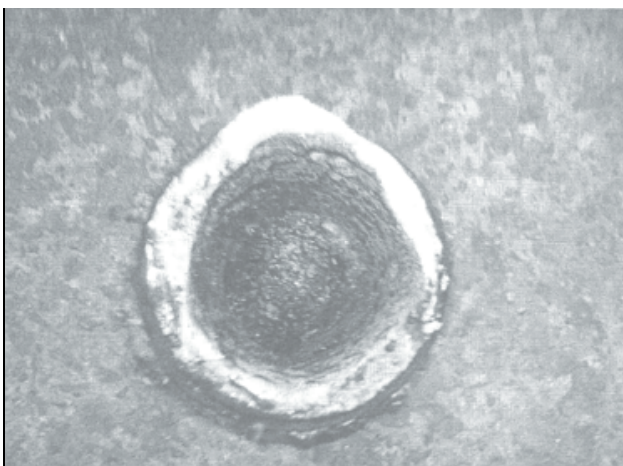


**Рис. 3.** Отложения глинозема в корундографитовом погружном стакане при непрерывной разливке

обеспечиваться при содержании  $[Al]_{окс} = 0,00063-0,00125\%$ , а при содержании в стали  $[Ca] = 0,0025\%$  условия разливки металла будут обеспечиваться при содержании  $[Al]_{окс} = 0,0016-0,0031\%$ . Рис. 2 показывает, что при содержании в стали  $[Al]_{общ} = 0,010\%$  и содержании  $[Ca] = 0,0010\%$  разливка металла будет обеспечиваться при соотношении  $Al_{окс} / Al_{общ} = 6,25\%$ , в то время как при содержании в стали  $[Al]_{общ} = 0,030\%$  и содержании  $[Ca] = 0,0010\%$  разливка будет обеспечиваться уже при соотношении  $Al_{окс} / Al_{общ} = 2,08\%$ . При этом добиться такого соотношения в производственных условиях практически невозможно. Также в производственных условиях весьма затруднительно обеспечить в необходимых пределах соотношение  $[Ca] / [Al]_{окс}$  при содержании  $[Ca] = 0,0010\%$ .

Из вышеизложенного следует, что при внепечной обработке стали на выпуске и получении стали на агрегате «ковш-печь» необходимо ограничивать и контролировать содержание оксидного алюминия. Регламент ввода кальцийсодержащей порошковой проволоки определяется с учетом физико-химического состояния металла конкретной плавки. Это целесообразно не только для обеспечения разливки, но и требуемого качества стали.

При выполнении указанных положений обеспечивается стабильное усвоение кальция и трансформация глинозема в жидкие алюминаты кальция. Это дает возможность осуществлять прецизионную обработку металла кальцийсодержащими реагентами. При серийной

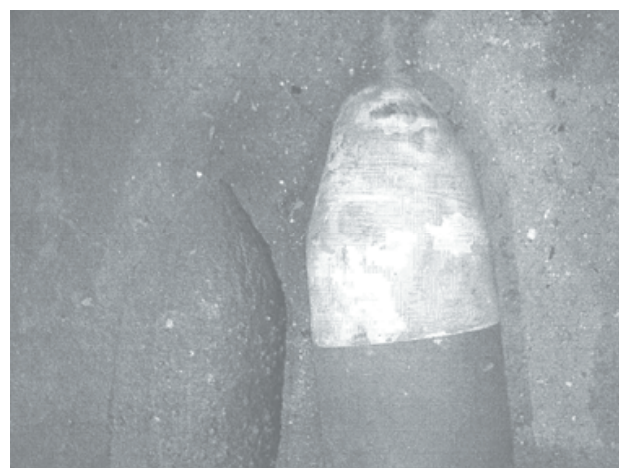


**Рис. 4.** Размытие погружного стакана кальцием при непрерывной разливке

разливке одноименных марок стали можно регулировать содержание кальция в последующих плавках в зависимости от состояния канала стакана-дозатора. Если при разливке плавки наблюдается зарастание стакана-дозатора, то в последующей плавке следует увеличить содержание кальция, что позволит смыть отложения глинозема и восстановить расходные характеристики системы «стопор-стакан». Это иллюстрируется следующим примером.

На одном из металлургических предприятий [5] низкокремнистую сталь марки 1006 первоначально разливали на слябовой МНЛЗ без использования кальцийсодержащих материалов. При этом по ходу разливки часто наблюдались нарушения скоростного режима, повышенная технологическая обрезь из-за промывок стакан-дозаторов (2-4 раза за серию), стойкость погружного стакана составляла 2-3 плавки. На рис. 3 показаны отложения глинозема в корундографитовом погружном стакане при непрерывной разливке. В связи с повышенными затратами при выплнении заказов на производство низкокремнистых марок стали было решено разработать технологию внепечной обработки и непрерывной разливки этих сталей с использованием кальцийсодержащих материалов. Разработанная технология предусматривала использование при внепечной обработке порошковой проволоки  $\varnothing 13$  мм (производства ОАО «Завод «Универсальное оборудование»») с наполнением феррокальцием в соотношении 60:40 %мас. Наполнение проволоки по кальцию составляло 86 г/м.

Следует отметить, что на этом металлургическом комбинате имеется система, позволяющая поддерживать стабильность скоростного режима разливки. Диаграммы скорости разливки, положения стопора, уровня металла в кристаллизаторе дают информацию о зарастании канала стакана-дозатора и погружного стакана или об их размытии и размытии головки стопора. Использование системы автоматического поддержания уровня металла в кристаллизаторе позволяет оперативно реагировать на ситуацию – в случае повышения уровня показаний датчика принимать меры к увеличению содержания кальция в металле, размытию отложений и стабилизации положения уровня металла. В случае же снижения уровня показаний датчика – принимать меры к уменьшению содержания кальция в металле, предотвращению размытия огнеупоров стопора и стакана.



**Рис. 5.** Разъедание стопора кальцием при непрерывной разливке

При неконтролируемом использовании кальцийсодержащих материалов наблюдалось размытие погружного стакана и стопора (рис. 4, 5). На рис. 6 и 7 представлены диаграммы положения стопора, уровня металла в кристаллизаторе и скорости разливки при недостаточном и избыточном содержании кальция в стали, наглядно иллюстрирующие, когда начинается процесс зарастания каналов стакан-дозатора (рис. 6) или размытия каналов и головки стопора (рис. 7).

В настоящее время на этом предприятии при серийной разливке на МНЛЗ низкокремнистой стали 1006 для обеспечения заданной скорости разливки 1,3 м/мин в течение всей серии плавков (8-9 плавков) установлена следующая технология. Порошковая проволока с FeCa вводится на 2-й, 4-й плавках в серии. Содержание  $[Al]_{окс}$  перед вводом проволоки составляет 0,0015-0,0030 %. Расход FeCa регламентируется с учетом состояния канала стакан-дозатора. Как правило, содержание Ca в металле 0,0017-0,0020 % (17-20 ppm) обеспечивает смывание образующихся отложений и нормальное продолжение

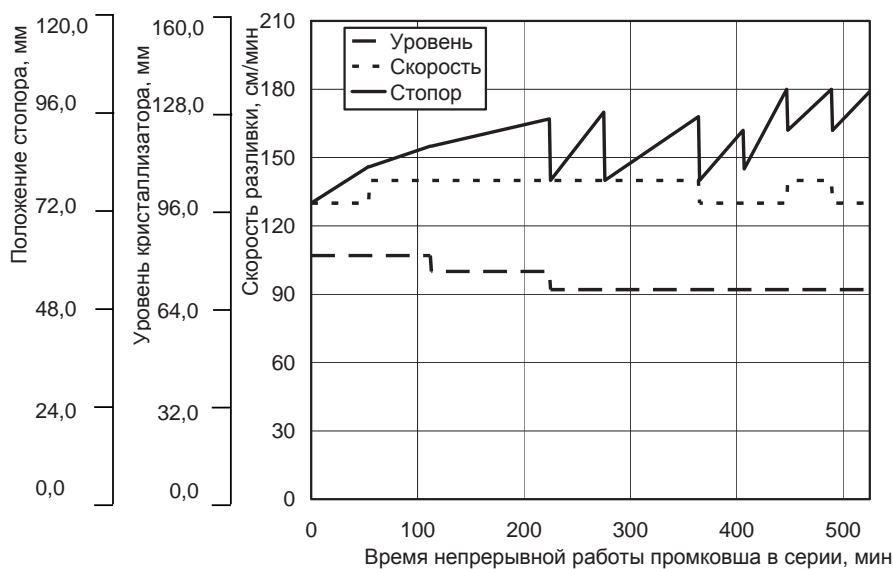
процесса разливки. Расход проволоки при этом составляет 0,27-0,33 кг/т по кальцию, ввод осуществляется за 3-5 мин до окончания обработки, скорость ввода – 250 м/мин, интенсивность продувки – 75 л/мин.

При содержании [Ca] ниже 10 ppm зарастание погружных стаканов и каналов дозаторов продолжается, при содержании [Ca] 10-12 ppm наблюдается непродолжительный эффект. Далее на 6-й или 7-й плавках проволока вводится для получения 12-15 ppm [Ca], что оказывается достаточным для успешного окончания разливки, при этом учитывается содержание в металле серы, алюминия оксидного и т. д.

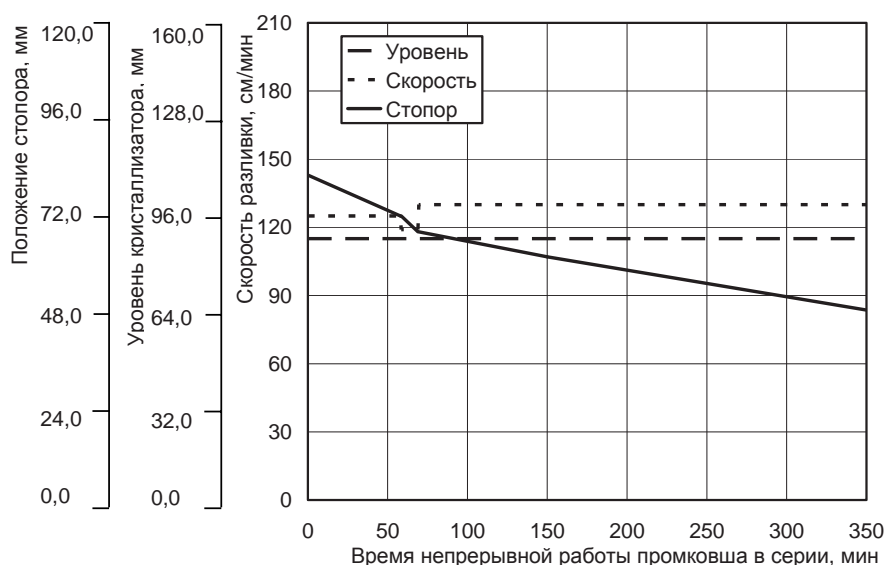
В результате освоения этой технологии уменьшено количество нестабильных и потенциально опасных ситуаций на МНЛЗ за счет предотвращения затягивания канала шиберного затвора стальковша, исключения замен погружных стаканов (стойкость стакана повышена с 2-3 до 7-8 плавков – до стойкости по шлаковому поясу) и промывок стакан-дозатора, повышено качество стали, уменьшена сегрегация, исключены точечные включения, снижена технологическая обрезь.

На другом металлургическом предприятии при разливке на МНЛЗ стали аналогичного сортамента также по ходу разливки часто наблюдались нарушения скоростного режима, при этом стойкость погружного стакана составляла одну плавку и менее. Обработка стали кальцийсодержащей проволокой без учета состояния металла и шлака перед вводом порошковой проволоки (расход проволоки при этом составлял 0,15 кг/т по кальцию) привела к более интенсивному зарастанию и замене двух погружных стаканов на одной плавке. Анализ такой технологии показал, что содержание  $[Al]_{окс}$  перед вводом проволоки составляло 0,011, а окисленность шлака (FeO+MnO) – 10,780 %. При таких показателях ввод кальцийсодержащей проволоки вообще не имеет смысла, так как добиться модифицирующего эффекта в таких условиях невозможно. После ввода проволоки содержание  $[Al]_{окс}$  составило 0,005, а окисленность шлака (FeO+MnO) – 7,09 %, немодифицированный глинозем обеспечил зарастание стакан-дозатора. При этом регламент ввода кальцийсодержащего реагента не учитывал вторичное окисление, что еще более усугубило ситуацию.

Практические исследования показали, что разливка на МНЛЗ без специальных мероприятий по защите стали от вторичного окисления приводит к тому, что содержание алюминия в ней уменьшается в среднем на 0,010-



**Рис. 6.** Диаграмма положения стопора, уровня металла в кристаллизаторе и скорости разливки при недостаточном содержании кальция в металле



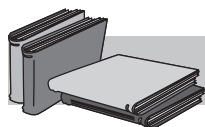
**Рис. 7.** Диаграмма положения стопора, уровня металла в кристаллизаторе и скорости разливки при избыточном содержании кальция в металле

-0,014 % (участок стальной–прокат–кристаллизатор), а кислорода – повышается почти вдвое [6]. При этом содержание  $[Al]_{окс}$  может увеличиваться на 0,002-0,003 % [1]. Глинозем, как рассмотрено выше, также способствовал нарастающему огнеупорному тракту.

В связи с этим следует отметить, что на каждой МНЛЗ интенсивность вторичного окисления зависит от состояния огнеупорной металлопроводки и поэтому непредсказуема. Необходимо принимать меры по его устранению и (или) предметно исследовать и учитывать изменения в содержании алюминия и кислорода в металле.

## Вывод

Таким образом, для стабильной разливки металла на МНЛЗ должны соблюдаться ряд условий, при этом одними из основных являются следующие: соотношение  $Ca / Al_{окс}$  должно находиться в пределах 0,8-1,6; содержание  $[Al]_{окс}$  в стали должно находиться на низком уровне (не более 0,002-0,003 %) в течение всей серии разливки. Для этого должен проводиться комплекс технологических операций во время выплавки, выпуска, внепечной обработки и разливки стали. Одними из таких мероприятий могут быть отсечка шлака, предварительное раскисление металла карбидом кальция, диффузионное раскисление в период внепечной обработки, предотвращение вторичного окисления металла и др.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Дюдкин Д. А., Кисиленко В. В. Современная технология производства стали. – М.: Теплотехник, 2007. – 528 с.
2. Кусано Е., Каваути Ю., Кадзусима М. и др. Технология обработки специальных сталей кальцием // Новости черной металлургии за рубежом. 1996. – № 1. – С. 64-66.
3. Дюдкин Д. А. Особенности комплексного воздействия кальция на свойства жидкой и твердой стали // Сталь. – 1999. – № 1. – С. 20-25.
4. Карья Я., Невали Х., Хицуен У. и др. Характеристика износа огнеупоров при разливке сталей, раскисленных кальцием // Металлургический завод и технология. – 1994. – С. 24-28.
5. Дюдкин Д. А., Кисиленко В. В., Акулов В. В. и др. Совершенствование технологии непрерывной разливки низкокремнистых марок стали // Бюл. науч.-техн. и эконом. информации. – 2007. – Вып. 8. – С. 35-37.
6. Смирнов А. Н., Пилюшенко В. Л., Минаев А. А. и др. Процессы непрерывной разливки. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 536 с.

УДК 621.74.047

Г. И. Касьян, С. Н. Писарский, В. И. Сирченко (ЗАО «ММЗ «ИСТИЛ (Украина)»»)

# Опыт освоения и совершенствования технологии производства сортовых заготовок круглого сечения на МНЛЗ ЭСПЦ ЗАО «ММЗ «ИСТИЛ (Украина)»»

На «ММЗ «ИСТИЛ (Украина)»» накоплен опыт производства непрерывнолитой круглой заготовки, в том числе выплавки, внепечной обработки и разливки на сортовой МНЛЗ. Это позволяет рассматривать используемую технологию как базовую для внедрения на строящихся в Украине металлургических комплексах.

Сортовая шестиручьева радиальная МНЛЗ (R = 8 м) фирмы «DANIELI» для скоростной разливки является комбинированной и позволяет отливать квадратные и круглые заготовки низко-, средне- и высокоуглеродистого марочного сортамента. Специфической особенностью МНЛЗ завода «Истил (Украина)» является производство товарной заготовки широкого размерного и марочного сортамента с частой сменой (перевалкой) отливаемых профилей, сопровождающейся

Изложены основные принципы технологии производства сортовых заготовок круглого сечения на МНЛЗ электросталеплавильного цеха ЗАО «ММЗ «ИСТИЛ (Украина)»». Показаны основные пути совершенствования процесса с целью повышения его эффективности и качества продукции

заменой кристаллизаторов и коллекторов зоны вторичного охлаждения. Освоено производство следующих профилей – кв. 100 (разливка только открытой струей), 120, 125, 130, 150 мм, круг Ø 120, 150, 160, 180 мм. Имеется также оборудование для производства профиля Ø 130 мм.

Всего за период 2001-2007 гг. эксплуатации МНЛЗ произведено 99300 т круглой заготовки из 30 марок стали, в том числе St 10, St 15, St 20, 10, 20, St HE, St 52, Grade B, Grade J, 20X, 5LX42 «B», 25Г2 «B», 32Г2, 35Г2Ф «B», 36Г2С «B», 35, 40X и другие с массовой долей алюминия от 0,015 до 0,035 % в круглые заготовки Ø 120, 150, 160, 180 мм для производства труб. При этом доля вакууми-