

Остаточное содержание растворения кислорода в металле заметно влияет на ударную вязкость и долю вязкой составляющей в изломе, так как на механические свойства металла при низких температурах влияют преимущественно третичные НВ. С увеличением содержания алюминия снижается количество растворенного в стали кислорода и, соответственно, содержание третичных НВ, что приводит к росту величины  $KCU_{-60}$  и  $KCV_{-20}$ . Влияние общего содержания кальция или соотношений  $[Ca] / [S]$  и  $[Ca] / [Al]$  на механические свойства оказалось более сложным (максимальные значения ударной вязкости достигались при  $[Ca]_{общ} = 20 \text{ ppm}$ ).

### Выводы

На основании статистического анализа экспериментальных данных установлены технологические параметры раскисления металла на выпуске из сталеплавильного агрегата и в ходе внепечной обработки, обеспечивающие минимальную суммарную загрязненность листового проката оксидными НВ.

Проанализировано изменение активности кислорода в металле, глубоко раскисленного алюминием, за счет модифицирования кальцием. Установлены пределы изменения окисленности металла по мере изменения химического состава неоксидных металлических включений.

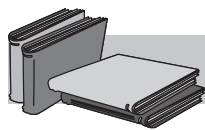
Установлено, что для формирования НВ оптимального состава и исключения при модифицировании

образования  $CaS$  на поверхности  $Al_2O_3$ , необходимо снижение общего содержания кислорода в металле и глубокая десульфурация металла до уровня  $[S] < 0,004 \%$ .

Установлены оптимальные значения характеристик химического состава готового металла (соотношений  $[Ca] / [S]$  и  $[Ca] / [Al]_{раств.}$ ), обеспечивающих минимальные значения балла загрязненности проката хрупкими и недеформируемыми силикатами по терминологии ГОСТ 1778.

Установлено существенное влияние технологии модифицирования НВ как на балл загрязненности по ГОСТ 1778, так и на механические свойства проката (ударную вязкость). Выявлено, что средний показатель ударной вязкости листового проката стали X70 растет по мере снижения остаточного содержания растворенного кислорода. Однако влияние глубины модифицирования на балл загрязненности, значения  $KCU$ ,  $KCV$  проявляется достаточно неоднозначно, что требует дополнительных исследований, касающихся рациональной технологии модифицирования.

При экспериментальном исследовании процессов рафинирования металла в ходе внепечной обработки доказано, что возможно как формирование мелких НВ за счет вторичного окисления, так и коагуляция образовавшихся НВ с участием уже сформированных в ходе раскисления крупных включений. При этом возможен результирующий рост балльной оценки загрязненности металла оксидными НВ.



## ЛИТЕРАТУРА

1. State of the Art in Evaluation and Control of Steel Cleanliness / Lifeng ZHANG, Brian G. Thomas // ISIJ International. – Vol. 43. – 2003, № 3. – P. 271-291.
2. Включения и газы в сталях / Явойский В. И., Ближнюков С. А., Вишкарёв А. Ф. и др. – М.: Металлургия, 1979. – 220 с.
3. Обработка металла инертными газами / Ойкс Г. Н., Степанов А. В., Мелихов П. И. и др. – М.: Металлургия, 1970. – 112 с.
4. Дьяконов В. П. Пути удаления неметаллических включений при вакуумировании стали // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 1969. – № 6. – С. 5-9
5. Кнуппель Г. Раскисление и вакуумная обработка стали. – М.: Металлургия, 1984. – 414 с.
6. Лузгин В. П. Кислород и механизм его влияния на свойства стали // Сталь. – 1999. – № 10. – С. 22-26.
7. Thermodynamics and Kinetics of the Modification of  $Al_2O_3$  Inclusions / Guozhu Ye, P. Jonsson, T. Lund // ISIJ International. – Vol. 36. – 1996, Supplement. – P. 105-108.
8. Improvement of Castability and Quality of Continuously Cast Steel / D. Janke, Z. Ma, P. Valentin e. a. // ISIJ International. – Vol. 40. – 2000, № 1. – P. 31-39.

УДК 669.18.012

А. Н. Смирнов, Е. Н. Лебедев (ДонНТУ), В. В. Хорошилов (ОАО ММЗ), К. Н. Шарандин (ДонНТУ)

## Влияние серы на качество поверхности заготовки из низкокремнистой стали

Целесообразность выплавки той или иной марки стали определяется экономическими факторами. При наличии блюминга в составе металлургического предприятия на нем продолжается производство низкокремнистых кипящих и полуспокойных марок стали для производства сортового и листового проката.

Существует два наиболее распространенных варианта производства полуспокойной стали: раскисление марганцем и кремнием в ковше и раскисление стали только марганцем. В обоих случаях при разливке сталь окончательно раскисляется алюминием. Реализация раскисления стали марганцем и алюминием уменьшает вредное влияние серы на качество поверхности заготовки

Сегодня существует несколько схем производства полуспокойной стали. В общем случае прокат из этой

стали должен удовлетворять требованиям заказчика, а именно – иметь гарантированные физико-механические свойства при растяжении. Прокат из низкокремнистой стали должен соответствовать заданным служебным свойствам – пластически деформироваться в холодном состоянии, допускать изгиб без нарушения сплошности поверхности.

У производителя технология производства должна быть достаточно гибкой и обладать стабильными заданными технико-экономическими показателями. Слитки должны быть сбалансированными по структуре и кристаллизоваться без рослости и усадки. Это обеспечивает минимальные отходы металла в виде головной и донной обрезки слитков и отсутствие поверхностных дефектов на заготовках [1]. Это гарантированно обеспечивает получение качественного готового проката.

Сера является одной из наиболее вредных примесей в металле, ведущая к образованию вышеперечисленных дефектов при кристаллизации и прокатке заготовок. Отрицательное влияние серы на свойства стали широко обсуждено в научно-технической литературе [2, 3]. Одним из действенных методов снижения ее отрицательного влияния является тщательная подготовка шихты, включающая десульфурацию чугуна перед проведением мартеновской и конвертерной плавки. При регламентированном содержании серы применяется промежуточное скачивание шлака с последующим наведением нового, вызывающим перерасход извести [4]. Для нейтрализации вредного влияния серы, в %  $[Mn] / [S]$  поддерживается на достаточно высоком уровне. Без предварительной обработки чугуна это вызывает необходимость выпуска стали с содержанием марганца, близким к верхнему пределу.

В настоящее время полуспокойная сталь производится по двум наиболее распространенным вариантам технологии. Первый заключается в том, что сталь раскисляют марганцем и кремнием в ковше. При разливке несбалансированные слитки дополнительно раскисляются добавками алюминия под струю. Второй вариант предусматривает раскисление стали только марганцем. В результате на разливку сталь поступает кипящей, где ее окончательно раскисляют алюминием. При таком варианте технологии содержание кремния в стали не превышает 0,01-0,02 %. Расход алюминия на раскисление, в отличие от предыдущего варианта составляет не 50-100 г/т стали, а 300-500 г/т (в зависимости от содержания углерода в стали) [5].

Для получения дополнительных данных о влиянии

серы в присутствии различного количества растворенного в металле кислорода были выполнены исследования изменения технико-экономических показателей производства стали марки СтЗпс в соответствии с первым и вторым вариантами ее производства.

При выполнении исследований сталь выплавляли в 160-тонных конвертерах, 250-500-тонных мартеновских печах. Металл раскисляли во время выпуска в ковш добавками марганец - и кремнийсодержащих ферросплавов. В соответствии с первым вариантом содержание кремния в ферромарганце не регламентировалось. При раскислении по второму варианту содержание кремния в ферромарганце не превышало 1 %.

Сталь разливали в 5, 7, 8-тонные изложницы сифонным способом. На пути «сталеразливочный ковш - центровая» алюминий вводили под струю с помощью бункера.

Статистический анализ данных более 1000 плавки стали марки СтЗпс показал, что содержание углерода перед выпуском изменялось в широких пределах – 0,07-0,24 %. Недостающее количество углерода вводили в сталь во время выпуска в ковш. Содержание марганца в стали перед выпуском изменялось от 0,08 до 0,28 %. Порядка 50 % плавки выпускалось с содержанием марганца 0,08-0,10 %. После науглероживания и раскисления основное количество плавки имело содержание углерода 0,17-0,21 %. После раскисления марганцем около 65 % плавки содержало 0,45-0,54 % марганца в ковшовой пробе. Для первого варианта содержание кремния в стали составляло 0,01-0,02 %. После раскисления в ковше по второму варианту кремнийсодержащими раскислителями содержание кремния изменялось от 0,05 до 0,12 %. Подовляющее большинство плавки (более 65 %) имело содержание кремния 0,07-0,08 %.

Содержание серы в металле опытных плавки изменялось от 0,015 до 0,055 %. Отношение (в %)  $[Mn] / [S]$  в металле, выполненном по первому варианту не превышало 10-12. Для второго варианта это отношение составляло не менее 14-16.

При выполнении исследований качества металла первого варианта производства установлено, что при более низком отношении (в %)  $[Mn] / [S]$  резко ухудшается качество поверхности заготовок из-за образования поверхностных трещин (визуальным способом на адьюстаже).

Сопоставляя качество заготовок одинакового сечения (80-150 мм), полученных по первому и второму вариантам на их поверхности контролировали наличие продольных трещин.

Результаты выполненных исследований представлены на рисунке.

Полученные данные исследований указывают на существующую зависимость качества поверхности заготовок от содержания серы в стали и варианта ее производства. При этом изменение содержания серы в стали, полученной по первому варианту практически не оказывает влияния на качество поверхности проката. В стали, содержащей не менее 0,05 % кремния, наблюдается монотонное ухудшение качества поверхности с

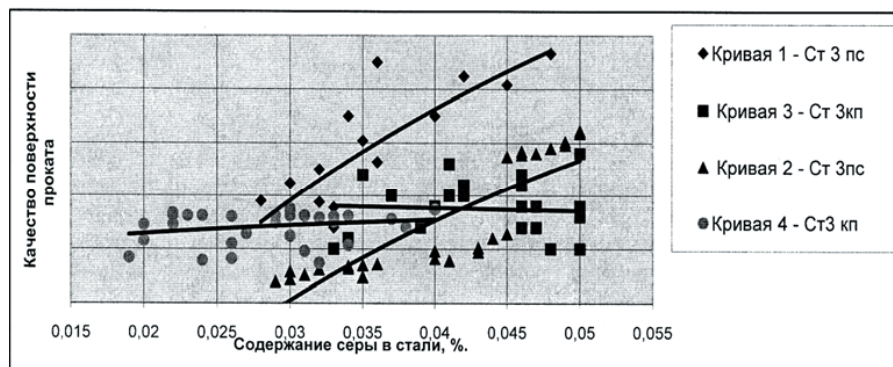


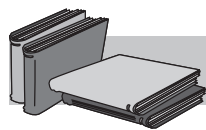
Рис. Зависимость качества поверхности заготовки от содержания серы в стали, %.

ростом содержания серы от 0,020-0,025 до 0,045-0,05 %. Полученные данные подтверждаются существующими в настоящее время на предприятиях, реализующих первый вариант технологии, целенаправленными производственными мероприятиями, которые уменьшают зависимость качества поверхности заготовки при содержании серы более чем 0,0255 %. При повышенной концентрации серы их технологии предусматривают увеличение отношения (в %)  $[Mn] / [S]$  более 14-15.

Металлографические исследования выполнены на заготовках. Из поверхности заготовок отбирали пробы, соответствующие направлению прокатки. Анализ шлифов металла из поверхности заготовок низкокремнистой стали показал, что здоровая корка и прилегающие к ней объемы металла содержали оксисульфиды и деформированные сульфиды марганца. Различие в

структуре в первую очередь связано с тем, что металл второго варианта выплавки кристаллизуется как кипящий, с образованием корки, состоящей из достаточно «чистой» по примесям стали [6].

Таким образом следует отметить, что получение полуспокойной стали возможно по двум вариантам. Предпочтительным является первый вариант, так как обеспечивает одинаковые физико-механические свойства. Он в значительной степени нейтрализует вредное влияние серы на качество поверхности проката. Количество продольных поверхностных трещин при прочих равных условиях получается ниже, чем на металле второго варианта производства. В результате этого появляется дополнительная возможность снижения расхода марганецсодержащих раскислителей из-за допустимого более низкого отношения (в %)  $[Mn] / [S]$ .



## ЛИТЕРАТУРА

1. Шнееров Я. А., Вихлещук В. А. Полуспокойная сталь. - М., Металлургия, 1973, 368 с.
2. Макуров С. Л. Теория строения кристаллического, жидкого и аморфного состояния вещества. Учебное пособие для металлургических специальностей. - Мариуполь, 2003, 228 с.
3. Кнюппель Г. Раскисление и вакуумная обработка стали. Термодинамические и кинетические закономерности. Ч. 1. Пер. с нем. Г. Н. Еланского // Металлургия, 1973, 312 с.
4. Производство полуспокойной стали // Центральный институт информации черной металлургии, 1961, 50 с.
5. Принципы оптимизации кондиционности полуспокойной стали перед разливкой. Лебедев Е. Н., Хорошилов В. В., Лившиц Д. А., Дымченко Е. Н. // Донецк, Металлургия, 2005. – Вып. 102. – С. 135-139.
6. Казаков А. А. Кислород в жидкой стали. - М.: Металлургия, 1972, 200 с.

УДК 621.771

Д. А. Дюдкин, В. В. Кисленко (ОАО «Завод «Универсальное оборудование»), М. С. Кузнецов, А. И. Потапов (ОАО «Уральская сталь»)

# Совершенствование технологии внепечной обработки стали силикокальцием на ОАО «Уральская сталь»

В современной технологии внепечной обработки стали кальций занимает определяющее значение в связи с многофакторностью его влияния на физико-химическое состояние расплава, макро- и микроструктуру затвердевающей непрерывнолитой заготовки, качество и свойства металлопродукции. В последние годы при производстве высококачественного металла для магистральных газо- и нефтепроводов, судостроения, строительной индустрии, автомобилестроения и т. д. внепечная обработка стали кальцийсодержащими реагентами является неотъемлемой частью технологии.

До последнего времени в мировой металлургической практике силикокальций марки СК30 являлся наиболее широко используемым сплавом для ввода кальция в сталь. Это обусловлено тем, что такое соотношение компонентов в сплаве (в %) (30 - Са и 60 - Si) обеспечивает оптимальное сочетание основных теплофизических параметров, влияющих на усвоение кальция – весьма

Использование порошковой проволоки с наполнением СК40 в технологии внепечной обработки в условиях ЭСПЦ ОАО «Уральская сталь». Результат - снижение затрат на производство стали при обеспечении разливаемости и требуемого уровня качества металла

важный технологический и экономический аспект применения порошковой проволоки [1].

Известно, что для повышения эффективности использования кальцийсодержащих материалов необходимо снизить температуру в зоне взаимодействия кальция с жидким расплавом. Одним из таких решений может быть ввод в состав наполнителя проволоки металлического кальция в смеси с материалом, содержащим кремний. При вводе порошковой проволоки с наполнением механической смеси ферросплава, содержащего кальций и кремний, и металлического кальция в жидкий расплав необходимое содержание кальция в ферросплаве будет достигаться непосредственно при обработке жидкого железоуглеродистого расплава.