



А. С. ЗАЗЯН, РУП «БМЗ»

УДК 669

ОПЫТ УПРАВЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВОМ И СОСТАВОМ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

В конце 2003 г. в ЭСПЦ-1 началось производство новой для данного цеха продукции – высокоуглеродистой стали марок С70D и С76D. Основная цель проведенной коллективом НТУ научно-исследовательской работы – разработка технологии производства катанки диаметром 5,5 мм для выполнения контракта по данным маркам стали.

Параллельно проводили исследование возможности получения в условиях комплекса оборудования ЭСПЦ-1 высокоуглеродистой стали кордового качества. После пуска в строй агрегата «ковш-печь» и отработки технологии внепечной обработки производство данной продукции в ЭСПЦ-1 – актуальная задача для коллектива РУП «БМЗ». Сдерживающим фактором при решении данной задачи является отсутствие агрегата для вакуумирования стали, что не позволяет использовать действующую в ЭСПЦ-2 технологию производства кордовых марок стали. Действующее в ЭСПЦ-1 оборудование при использовании соответствующих шихтовых материалов позволяет получить приемлемое количество вредных примесей (S, P, газов и цветных металлов) в готовой стали. При этом нерешенной остается проблема получения необходимого количественного и качественного состава неметаллических включений.

Опыт Молдавского металлургического завода показал, что можно добиться характеристик неметаллических включений в невакуумированном металле, сопоставимых с прошедшим обработку на вакууматоре. Авторы [1] приводят следующие данные: на ММЗ при увеличении расхода силикокальциевой проволоки от 200 до 400 м на плавку, переходе на основную футеровку промковша и организацию защиты струи из стальковша в промковш удалось уменьшить суммарную площадь неметаллических включений с 0,44 до 0,26%, средний диаметр глобулярных включений – с 7,53 до 3,83 мкм. В результате у потребителя существенно снизилась обрывность проволоки по неметаллическим включениям, увеличилась степень обжатия от 78,7 до 99,95%, достигнутый диаметр проволоки составил 0,14 мм (против 3 мм ранее).

The following technological methods have been applied for control the composition and quantity of nonmetallics in rolled wire of test meltings: work on "pure" burden, application of materials with minimal content of impurities, non-slaggy regime, fettling of steel-bowls.

Исследования специалистов РУП «БМЗ», а также данные ряда авторов [2, 3] показали, что наиболее вредное воздействие на качество кордовой стали оказывают недеформируемые неметаллические включения – корундовые, алюмосиликаты, шпинели с содержанием Al_2O_3 более 50 % (по данным [2], более 30 %) и размером, превышающий критический (по данным [3], от 6 до 11 мкм).

Согласно действующим на РУП «БМЗ» ЗТУ, общая плотность неметаллических включений в катанке под металлокорд и проволоку РМЛ, определяемая по методике фирмы «Pirelli», не должна превышать 1000 см^{-2} (средняя по пяти образцам) при максимальном значении на образце 1200 см^{-2} ; при содержании Al_2O_3 в неметаллических включениях – не более 50%. Допускается наличие включений с содержанием Al_2O_3 более 50% с плотностью не более 20 см^{-2} и размером не более 5 мкм при условии, что средняя плотность остальных включений не превышает 300, а максимальная – 500 см^{-2} .

В результате проведенного исследования неметаллических включений катанки 28 опытных плавков установлено, что полностью соответствует требованиям, предъявляемым ЗТУ к катанке кордовых марок стали, 10 плавков, или 36%. При этом превышение максимально допустимой общей плотности неметаллических включений отмечено в двух, а превышение максимального значения на образце – в семи случаях. В остальных случаях плотность неметаллических включений в области «С» либо превышала требуемые 20 см^{-2} , либо была меньше при общей плотности, превышающей 300 см^{-2} , а максимальной – 500 см^{-2} . Нестабильность результатов на разных образцах одной плавки можно объяснить образованием неметаллических включений в результате вторичного окисления в ходе разлива плавки на МНЛЗ, а также влиянием экзогенных включений, попадающих в металл из футеровки и шлака.

Для управления составом и количеством неметаллических включений в катанке опытных плавков применяли следующие технологические приемы.

Работа на «чистой» шихте, применение материалов с минимальным содержанием алюминия

При проведении опытных плавков использовали различные материалы и режимы раскисления и легирования стали для определения наиболее оптимального варианта, позволяющего достичь содержания неметаллических включений в катанке на уровне требований, предъявляемых ЗТУ к кордовым маркам стали. Для предотвращения увеличения содержания Al в стали, и, как следствие, получения корундсодержащих неметаллических включений в катанке алюминий вторичный и алюминийсодержащие материалы (АКС) при выплавке не использовали. С той же целью было ограничено применение ферросплавов с повышенным содержанием алюминия (FeSi65 и FeSiMn17). В частности, ряд плавков проводили с использованием для предварительного раскисления и легирования стали кремнием карбида кремния марки ККМ-88.

Остаточное содержание алюминия в разливочных пробах колебалось от 0,002 до 0,0045 % и составило в среднем по опытным плавкам 0,0039 %.

При изучении результатов металлографического анализа выявлена зависимость содержания в катанке корундовых включений от остаточного содержания алюминия в стали (92-я проба). На рис. 1 показан рост плотности корундовых включений с увеличением содержания алюминия в стали, что указывает на остаточный алюминий как на основной источник корундовых ($Al_2O_3 > 50\%$) неметаллических включений.

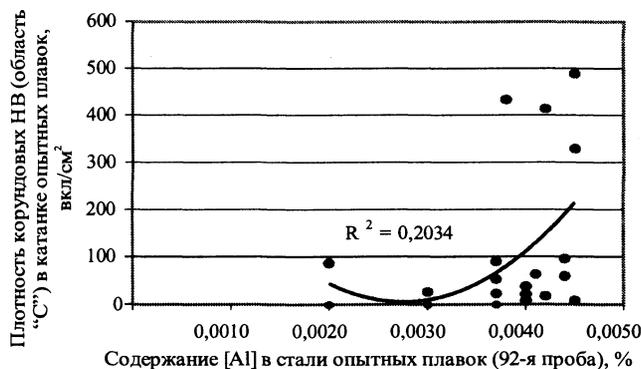


Рис. 1. Соотношение между содержанием алюминия (92-я проба) и плотностью неметаллических включений (область «С») в стали опытных плавков

Модифицирование неметаллических включений

После получения заданного химического состава стали производили модифицирование корундовых неметаллических включений путем ввода кальцийсодержащего материала – силикокальциевой проволоки СК30.

На всех опытных плавках, за исключением № 23887, 23920, 23921 и 10202, за 5–20 мин до

передачи плавки на МНЛЗ производили отдачу силикокальциевой порошковой проволоки с целью модифицирования и удаления НВ с общим расходом от 44 до 128 кг на плавку (средний расход – 66 кг) с последующей продувкой металла аргоном. Среднее время продувки составило 10 мин.

Зависимость плотности и состава НВ в области «С» от количества введенной в металл силикокальциевой проволоки показана на рис. 2.

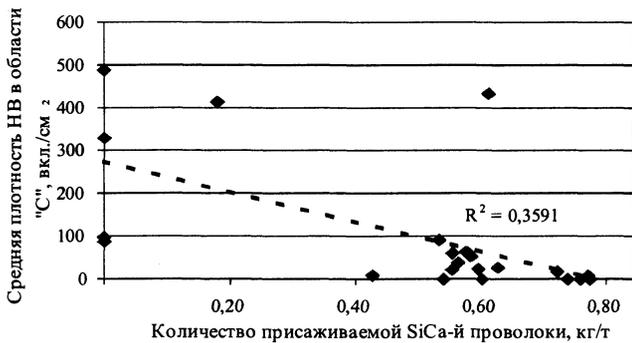


Рис. 2. Зависимость средней плотности неметаллических включений в области «С» от количества присаживаемой силикокальциевой проволоки

Как видно из рисунка, ввод в металл силикокальциевой проволоки в количестве 0,6–0,8 кг/т вызывает существенное снижение плотности неметаллических включений в области «С». Влияния ввода в расплав кальция на снижение общей плотности неметаллических включений не обнаружено.

Шлаковый режим

После проведения процесса десульфурации для улучшения жидкоподвижности и ассимилирующей способности шлака по отношению к НВ присаживали кварцевый песок в количестве от 50 до 120 кг (средний расход – 70 кг) на плавку, затем в течение 10–20 мин металл перемешивали донной продувкой аргоном без оголения зеркала металла. На ряде опытных плавков для получения шлака состава, близкого к псевдоволластониту, увеличивали количество присаживаемого песка до 200 кг. Конечный ковшевой шлак этих плавков содержал от 20 до 30% SiO₂ и 50–65% CaO и имел основность в пределах 1,7–2,2.

Изменение минералогического состава шлака в результате снижения основности вызвало изменение состава неметаллических включений. Характерный состав неметаллических включений плавки с основностью шлака $B = 2,5$ (расход песка – 60 кг, плавка № 20229) представлен на рис. 3, а и плавки с основностью шлака $B = 1,7$ (расход песка 200 кг, плавка № 20246) – на рис. 3, б.

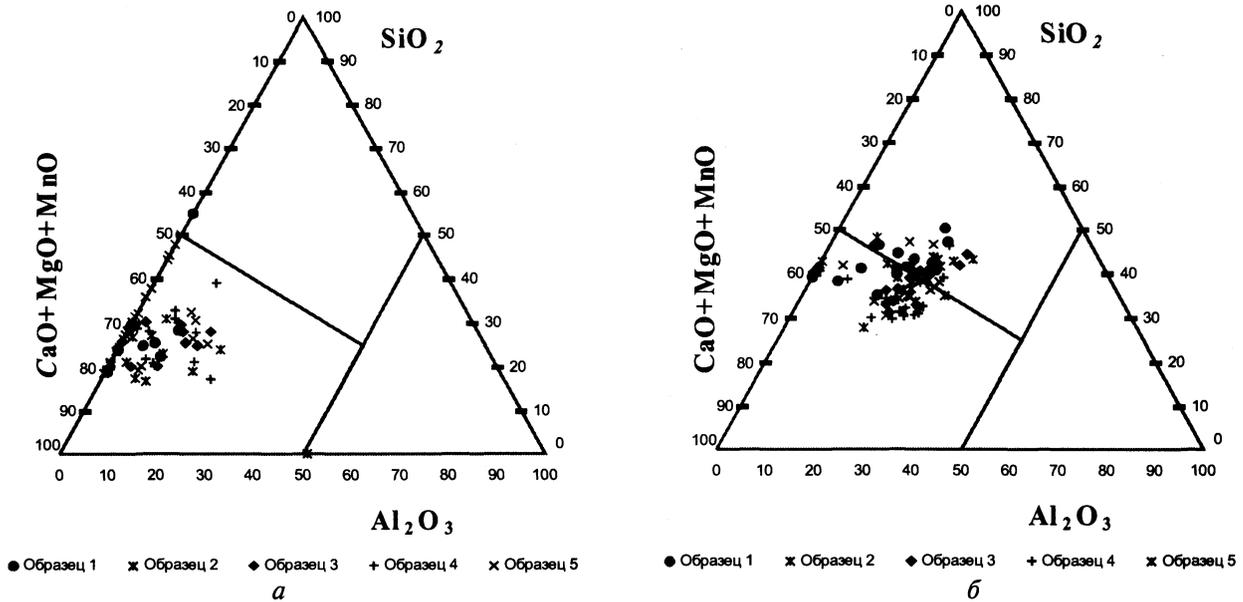


Рис. 3. Изменение характеристик неметаллических включений при уменьшении основности шлака *B* с 2,5 (а) до 1,7 (б)

Как видно из рисунка, при увеличении содержания SiO_2 в шлаке (плавка № 20746) в катанке преобладают неметаллические включения типа псевдоволластонита ($\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) и анотрита ($\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$).

Футовка стальной

Сталь опытных плавок обрабатывали в ковшах с основной комбинированной футеровкой, выполненной из высокоглиноземистого тиксотропного бетона со шлаковым поясом, выложенным

из периклазоуглеродистого кирпича, за исключением плавов № 23921, 20183, 20229 и 20233, на которых использовали ковши с кирпичной периклазоуглеродистой футеровкой № 8 и 25.

Средние параметры опытных плавов по загрязненности стали неметаллическими включениями по двум вариантам футеровки (1-й вариант – периклазоуглеродистая «кирпичная», 2-й вариант – высокоглиноземистая «наливная») приведены на рис. 4.



Рис. 4. Влияние материала футеровки стальной на загрязненность стали НВ

Как видно из гистограммы рисунка, на плавках с использованием периклазоуглеродистой футеровки отмечено снижение минимальной плотности неметаллических включений на 20%, плотности включений в области «С» – на 34% по сравнению с плавками, обработку которых проводили в наливных ковшах. Существенного влияния материала футеровки на содержание алюминия, максимальную и среднюю плотность неметаллических включений не отмечено.

Заключение

Существующее оборудование и используемые технологии позволяют эффективно управлять

количеством и составом неметаллических включений. Для получения стабильных положительных результатов необходимо применять «чистые» шихтовые и легирующие материалы с минимальным содержанием примесей цветных металлов и алюминия, осуществлять раскисление и десульфурацию металла до значений активности кислорода и содержания серы, сопоставимых с получаемыми при вакуумировании, поддерживать оптимальный шлаковый и продувочный режимы. Желательно использование стальной с периклазоуглеродистой футеровкой.

Литература

1. Старов Р.В., Парусов В.В., Нестеренко А.М. и др. Разработка технологии производства чистой по неметаллическим включениям стали в комплексе ДСП — ПК — сортовая МНЛЗ // Производство стали в XXI веке. Прогноз, процессы, технологии, экология: Материалы Международной научно-технической конференции. Киев —

Днепродзержинск, 15–19 мая 2000 г. Киев: НТТУ «КПИ». 2000. С.167–168.

2. Исаков С.А., Бердикулова Л.А., Кудрявцева Т.М., Лучшева Д.С. Влияние неметаллических включений на обрывность проволоки при свивке металлокорда // Сталь. 2002. № 10. С. 82–86.

3. Бельченко Г.И., Губенко С.И. Неметаллические включения и качество стали. Киев: Техника, 1980.