



The offered technology allowed to carry out the transformation aluminate impurities, to prevent the fall of hard sulfide calcium and as a result to exclude tightening of the steel-bowl gate at continuous steel cast with the normed content of sulfur and aluminium.

В. В. КИСИЛЕНКО, В. П. ОНИЩУК, Д. А. ДЮДКИН, ОАО «Завод «Универсальное оборудование»,  
В. Ю. ГУНЕНКОВ, А. В. ОЛЕНЧЕНКО, С. В. ТЕРЛЕЦКИЙ, РУП «БМЗ»

УДК 669.14.018-462:621.774.3

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ С НОРМИРУЕМЫМ СОДЕРЖАНИЕМ СЕРЫ

На РУП «Белорусский металлургический завод» в ЭСПЦ-2 ежегодно, в зависимости от наличия заказов, производится 15–25% (от производства по цеху) сталей с нормируемым содержанием серы. Сотрудниками РУП «Белорусский металлургический завод» и ОАО «Завод «Универсальное оборудование» была разработана технология производства стали с регламентированным содержанием серы, предусматривающая первоначально проведение десульфурации жидкой стали до содержания серы 0,015–0,020%, затем

обработку кальцийсодержащей проволокой и после этого легирование металла серой из проволоки до заданного содержания. Такая технология обеспечивает полное модифицирование и глобуляризацию неметаллических включений перед легированием металла серой, что приводит к значительному снижению загрязненности металла неметаллическими включениями, снижению поверхностных дефектов, улучшению разливаемости металла и сокращению брака (см. таблицу).

### Брак при производстве сталей с нормируемым содержанием серы

Наименование показателей	Значение показателей				
	до внедрения технологии (1999 г.)	после внедрения технологии			
		2000 г.	2001 г.	2002 г.	2003 г.
Производство стали по цеху, т	460541	515000	435603	425629	447106
Производство сталей с нормируемым содержанием серы, т	70314	100060	82103	42482	102048
Брак на сталях с нормируемым содержанием серы, в том числе:					
брак I передела, т	3731,1	2039,4	1664,4	996,88	1173,5
брак I передела, %	5,3	2,0	2,0	2,3	1,15
Брак аварийный + брак в заготовке, т	1818,8	164,7	158,1	65,6	102,1
Брак аварийный + брак в заготовке, %	2,59	0,16	0,19	0,15	0,10
Брак в сумме, %	7,89	2,16	2,19	2,45	1,25
Брак в целом по цеху, %	3,585	1,780	1,640	1,478	0,723

Для легирования металла серой используется порошковая проволока производства ОАО «Завод «Универсальное оборудование» диаметром 13 мм с наполнением технической серой (S>99,9 %) 175 г/м. Степень усвоения серы при выплавке среднеуглеродистых марок стали составляет 80%, при выплавке низкоуглеродистых – 70%. Высокое и стабильное усвоение серы обеспечивается специальным режимом ввода серосодержащей проволоки. Массовая интенсивность подачи серы в жидкий металл в единицу времени 0,15–0,32 кг S/т мин обеспечивает равномерное ее расщепление по всему объему металла без образования

локальных участков с повышенным или пониженным содержанием серы.

В начале 2003 г. возросло количество плавок сталей с нормируемым содержанием серы, на которых в процессе разлива происходило затягивание шибера стальной ванны. Предположительно причиной этого оказывались твердые включения с содержанием серы (типа  $\text{CaS} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ), выпадающие в металле после обработки силикокальцием, в особенности при нерегламентированной его подаче, а также сульфид кальция, обволакивающий частично модифицированные включения глинозема, тормозя дальнейшее их взаимодействие с кальцием.

Для оптимизации технологии производства сталей с нормируемым содержанием серы было предложено выполнить несколько мероприятий:

- установить расход вторичного алюминия на выпуске металла 1,7–2,1 кг/т (175–210 кг на плавку) в зависимости от содержания активного кислорода в расплаве;
- перед корректировкой химического состава после растворения шлакообразующих на установке «ковш-печь» обеспечивать содержание алюминия вводом катанки на уровне 0,035–0,040%;
- присадку силикокальциевой проволоки осуществлять в два этапа: 1) ввод 50 м проволоки до вакуумирования; 2) ввод остального количества проволоки (расход по нормативной документации минус расход до вакуумирования);
- присадку кварцевого песка осуществлять после вакуумирования.

При использовании разработанной технологии осуществляется более глубокое раскисление металла на выпуске, всплывание крупных алюминатных включений по ходу внепечной обработки, частичное модифицирование оставшихся включений кальцием перед вакуумированием, последующее легирование стали алюминием с поддержанием на низком уровне алюминия оксидного в стали, окончательное модифицирование алюминатных неметаллических включений кальцием, легирование стали серой в заданных пределах с предотвращением выпадения твердого сульфида кальция во время разливки.

После растворения шлакообразующих трайб-аппаратом присаживалась алюминиевая катанка на расчетное содержание алюминия 0,035–0,040%, корректировался химический состав стали и перед вакуумированием присаживалось 50 м проволоки с SiCa для частичного модифицирования образованных в процессе выпуска включений  $Al_2O_3$  и далее металл передавался на установку RH.

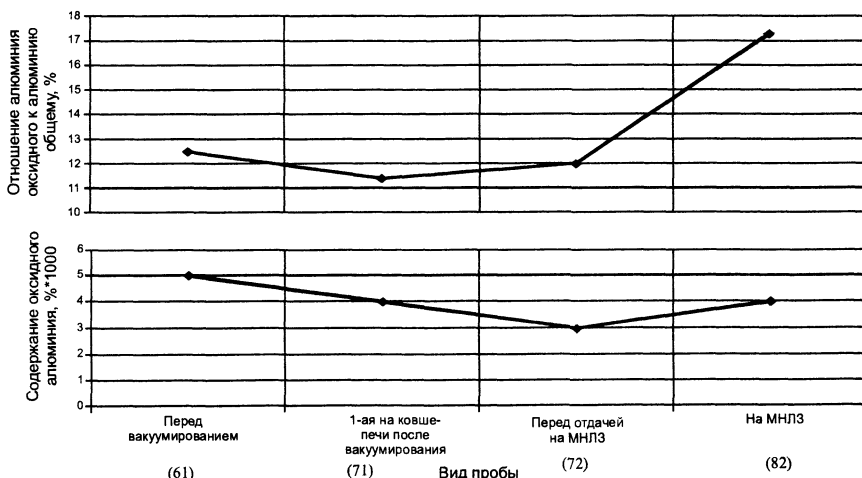
После вакуумирования присаживался кварцевый песок, корректировалось содержание алюминия (при необходимости) из расчета получения алюминия в готовой стали в пределах 0,015–0,030%, присаживалась проволока с SiCa в количестве 120–130 м (наполнение 225 г/м), через 3 мин продувки металла аргоном присаживалась серосодержащая проволока с продувкой аргоном после ввода не менее 3 мин.

Изменение содержания алюминия общего, кислоторастворимого и оксидного по ходу плавки показано на рисунке.

Из рисунка видно, что содержание  $[Al]_{окс}$  по ходу внепечной обработки и разливки металла составляет 0,002–0,007% (7–23,5%

от  $[Al]_{общ}$ ). По ходу внепечной обработки содержание  $[Al]_{окс}$  снижается с 0,005 до 0,003%, а на разливке вырастает до 0,004%, что, по-видимому, частично связано с изменением равновесия протекания реакций при понижении температуры, а частично — со вторичным окислением алюминия.

В ходе проведения исследований было отмечено, что на разливаемость металла влияние оказывает режим ввода кальцийсодержащих материалов в ковш с жидким металлом. Известно, что при обработке кальцием в жидком металле образуется дисперсная система «пузырьки паров Ca — жидкая сталь», так как температура кипения жидкого кальция примерно на 100 К меньше температуры расплава в ковше. Всплывающие пузыри паров кальция приводят в движение жидкий металл, циркуляционные потоки которого могут заметно влиять на процессы массообмена, вследствие чего в локальных зонах при чрезмерной массовой интенсивности подачи кальция в единицу времени могут образовываться участки с повышенным содержанием кальция, что приводит к интенсивному барботажу, выплескам металла и, как следствие, ухудшению эффективности использования кальция. Кроме того, при высоком локальном пересыщении кальцием, помимо реакций раскисления и модифицирования, будут протекать реакции взаимодействия кальция с серой, особенно при содержании серы более 0,010–0,015%. При этом образующийся тугоплавкий сульфид кальция может осаждаться на неметаллических включениях и блокировать процесс модифицирования глиноземистых включений, что приводит к ухудшению разливаемости металла. Поэтому массовая интенсивность подачи кальция в жидкий металл в единицу времени должна обеспечивать равномерное его рассредоточение по всему объему металла без образования локальных участков с повышенным или пониженным содержанием кальция. Исходя из проведенных исследований, было установлено, что наиболее оптимальной массовой



Изменение содержания алюминия оксидного по ходу внепечной обработки и разливки стали 2С45

интенсивностью подачи кальция для условий РУП «БМЗ» предположительно является 200–250 г/с.

Предложенная технология позволила осуществлять трансформацию алюминатных включений, предотвращать выпадение твердого сульфида кальция и, как следствие, исключить затягива-

ние шибера стальковша при непрерывной разливке сталей с нормированным содержанием серы и алюминия, что в итоге привело к дополнительному значительному снижению загрязненности металла неметаллическими включениями, снижению поверхностных дефектов, улучшению разливаемости металла и сокращению брака.