

2. Кузьмин А.В. Основы теории переноса нейтронов. – Издательство Томского политехнического университета: Томск, 2007. – 192 с.

3. Мельник С.Г. Производство антирадиационных сталей // Met. lit'e Ukr., vol. 27, 2019. № 10 -12 (317 - 319).

4. Бобылев М.В, Петровский В.А., Мельник С.Г. Прогнозирование формы присутствия бора при кристаллизации непрерывнолитого слитка стали типа 16ХГНМФР с различным содержанием азота, алюминия и бора // Электрометаллургия. - 1999. - № 9. - С. 37-43.

5. Bobylev M.V, Kurdyukov A.A., Nosoichenko O.V. et al. Quality of martempered plates with thickness of up to 52 mm from 16khGNMFR steel with guaranteed mechanical properties // Shuiyun Gongcheng. Port & Waterway Engineering, 1998. № 11. – С. 68 - 71.

6. Bobylev M.V., Kurdyukov A.A., Nosoichenko O.V. et al. Increase in the efficiency of steel alloying with boron for thermoimproved thick sheets produced at the JSC "Azovstal"// Stal', 1998. – N. 4. - P. 55 – 57.

7. Патент України на винахід № 116382. Спосіб одержання антирадіаційної борвмісної сталі. (Авт. Найдек В.Л., Мельник С.Г., Нарівський А.В., Курпас В.І., Биков Є.І.). Бюл. № 5. 12.03.2018.

УДК 669.18.046.5

**С. Г. Мельник<sup>1</sup>, Д. Калиш<sup>2</sup>, В. О. Синельников<sup>3</sup>, В. И. Курпас<sup>1</sup>, А. И. Троцан<sup>4</sup>,  
Р. Д. Куземко<sup>4</sup>, Ю. В. Хавалиц<sup>4</sup>**

1 – Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

2 – AGH University of Science and Technology, Cracow, Poland

3 – Zakłady Magnezytowe «ROPCZYCE» S.A., Ropczyce, Poland

4 – Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь

### **КОВШЕВОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ КАЛЬЦИЕМ**

При производстве сталей с повышенными служебными свойствами, таких как трубные 09Г2ФБ, Х80, 13Г1СУ для газопроводов высокого давления, котельные 09Г2СБ, 20к, ASTM А 516, ASTM А514, мостовые 10-15ХСНД, судостали по ГОСТ 5521, конструкционные стали ответственного назначения и

многие другие с целью повышения служебных свойств, как самих сталей, так и изделий из этих сталей применяют их рафинирование и модифицирование. Стали, изделиям из которых предстоит работать в северных условиях, в том числе при знакопеременных температурах, должны быть хладостойкими и характеризоваться достаточно высокими значениями ударной вязкости при отрицательных температурах. Давно замечено, что существенное влияние на повышение ударной вязкости, как KCV так и KCU, оказывает снижение содержания серы в металле.

Модифицирование стали кальцием производили в сталеразливочном ковше по двум технологическим вариантам:

- вдувание при помощи пневмокамерных питателей порошкообразного SiCa, соответствующего по химическому составу СК 10, СК 15 и СК 20 с содержанием кальция соответственно: - для 10÷15 %; - 15÷20 %; - 20÷25 % (Варианты I, II);

- ввод SiCa в сталь при помощи трайб-аппаратов в проволоке, представляющей собой металлическую оболочку, начиненную SiCa СК 30 (Вар. III).

По вариантам I, II порошкообразный силикокальций с технологической добавкой плавикового шпата вводили в сталь из пневмопитателя объёмом 1,5 м<sup>3</sup> через погружную футерованную фурму. Система рассчитана на давление аргона 1,6 МПа и обеспечивает подачу порошка с производительностью от 40 до 110 кг в минуту. Аргон, подаваемый в пневмопитатель, обеспечивает аэрацию порошка SiCa, а поступление SiCa в фурму и далее в сталь осуществляется подачей аргона «на транспорт». Обработка конвертерной стали в ковше порошкообразным SiCa наряду с модифицированием НВ обеспечивает дополнительное рафинирование стали. Снижение серы в результате продувки расплава порошкообразным SiCa зависит от степени раскисления стали, исходного содержания серы и составляет от 0,001 до 0,008 %. Достигнутая степень десульфурации стали при этом достигает 50 %.

Наряду с вдуванием порошкообразного SiCa для модифицирования НВ, улучшения разливаемости стали на МНЛЗ и повышения служебных свойств металлопродукции применяли технологические процессы внепечного модифицирования и рафинирования сталей порошковыми проволоками (вариант III), которые вводили в металл 350-т ковша при помощи трайб-аппаратов. ПП представляет собой металлическую цилиндрическую оболочку, выполненную из стали марок 08кп или 08Ю и заполненную порошком SiCa фракции 0÷3 мм.

Основные результаты по рассмотренным вариантам модифицирования стали представлены в таблице.

Из сопоставления данных, приведенных в таблице, видно, что усвоение кальция при модифицировании стали порошковой проволокой, заполненной порошком SiCa (вариант III) почти в 2 раза больше, чем при вдувании порошка SiCa с помощью пневмокамерного питателя (варианты I и II).

Таблица – Технологические параметры и результаты модифицирования штрипсовой стали

№ п/п	Варианты	I	II	III
	Параметры			
1	Материал	Порошок	Порошок	Порошковая проволока
2	Модификатор	Силикокальций СК 15	Силикокальций СК 25 – СК 30	Силикокальций СК 15
3	Расход порошка или порошковой проволоки, кг/т стали	1,40	1,41	2,2
4	Расход Ca, кг/т	0,21	0,35	0,2
5	Усвоение Ca, %	4,4	3,3	7,3
6	Содержание Ca в готовой стали $\times 10^3$ , %	0,5-1	0,5-1,1	0,5-1,4
7	Степень десульфурации стали, %	48,8	47,3	45,7

Металл с модифицированием Ca по исследованным вариантам соответствовал всем предъявляемым к нему требованиям и отправлен по назначению.

УДК 669.168

**С. Г. Мельник**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

### **ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОПРОЧНОЙ КОРПУСНОЙ СТАЛИ ДЛЯ АТОМНЫХ ЛЕДОКОЛОВ**

Освоение просторов Арктики, в том числе транспортного коридора – Северного морского пути, требует создания ледоколов, корпуса которых для успешной рабо-