

УДК 669.187:621.771

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАСКИСЛЕНИЯ И ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ РЕЛЬСОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАЛИ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РЕЛЬСОВОГО ПРОКАТА\*

*Козырев Н.А.<sup>1</sup>, д.т.н., заведующий кафедрой материаловедения,  
литейного и сварочного производства (kozyrev\_na@mtsp.sibsiu.ru)*

*Протопопов Е.В.<sup>1</sup>, д.т.н., профессор, ректор*

*Уманский А.А.<sup>1</sup>, к.т.н., доцент кафедры металлургии черных металлов*

*Бойков Д.В.<sup>2</sup>, к.т.н., начальник сталеплавильного отдела*

<sup>1</sup> Сибирский государственный индустриальный университет

(654007, Россия, Кемеровская обл., г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

<sup>2</sup> ОАО «ЕВРАЗ – объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат»

(654043, Россия, Кемеровская обл., г. Новокузнецк, шоссе Космическое, 16)

**Аннотация.** Исследованиями, проведенными в условиях электросталеплавильного цеха ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК», установлено, что увеличение длительности продувки рельсовой стали инертным газом при обработке на агрегате ковш – печь с 63 до 122 мин. способствует уменьшению количества оксидных неметаллических включений, при этом остальные контролируемые параметры качества готовых рельсов не ухудшаются. Промышленными экспериментами доказана технико-экономическая эффективность использования силикомарганца марки FeMnSi30HP вместо силикомарганца марки MnC18 для раскисления рельсовой стали в условиях электросталеплавильного цеха ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК». Установлено повышение степени сквозного усвоения углерода и кремния на 4 и 13 % соответственно. Механические свойства и макроструктура рельсов, полученных при использовании опытной технологии, находятся на уровне плавок текущего производства. По полученным расчетным данным экономическая эффективность от использования нового ферросплава марки FeMnSi30HP составила 13,99 и 32,64 руб./т для рельсов категорий Т1 и НЭ соответственно.

**Ключевые слова:** неметаллические включения, рельсовая сталь, эксплуатационная стойкость, продувка инертным газом, раскисление, ферросплавы, механические свойства, макроструктура.

DOI: 10.17073/0368-0797-2015-10-721-727

Проблема повышения эксплуатационной стойкости рельсов выходит на первый план [1 – 4]. В настоящее время достигнута стойкость рельсов на уровне 1 млрд. т брутто, ведутся работы по увеличению ресурса работы рельсов до 1,5 млрд. т брутто. Результаты проведенных в последние годы исследований свидетельствуют, что наиболее значимое влияние на эксплуатационную стойкость рельсов оказывает загрязненность стали оксидными неметаллическими включениями [5 – 7]. При этом наиболее негативное влияние на образование контактно-усталостных дефектов в процессе эксплуатации рельсов оказывают так называемые хрупко-разрушенные оксидные включения [8 – 12]. В связи с этим действующей нормативной документацией, распространяющейся на производство рельсового проката из стали марок Э76Ф (категория «В» – рельсы термоупрочненные высшего качества), НЭ76Ф (категория НЭ – рельсы низкотемпературной надежности), Э90АФ (рельсы повышенной износостойкости категории ИК), предусмотрена жесткая регламентация не только обще-

го содержания кислорода в стали, но и кислорода, связанного в хрупко-разрушенные оксидные включения: не более 10 ppm. Таким образом, проблема снижения концентрации хрупко-разрушенных оксидных включений в рельсовом металле является на сегодняшний день актуальной.

Концентрация хрупко-разрушенных оксидных неметаллических включений в рельсах определяется общим содержанием кислорода в стали. Выполнение требования стандартов по концентрации кислорода, связанного в хрупко-разрушенные оксидные включения (не более 10 ppm), возможно при содержании общего кислорода на уровне не более 12 – 13 ppm.

Ранее проведенными в условиях электросталеплавильного цеха ОАО «ЕВРАЗ – объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» (ЕВРАЗ ЗСМК) исследованиями [13, 14] установлено, что морфология образующихся оксидных включений в значительной степени определяется концентрацией кислорода. Так, при содержании кислорода в готовых рельсах менее 25 ppm встречаются в основном строчки хрупко-разрушенных алюминатов кальция ( $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ), максимальная длина включений не превышает 10 мкм.

\* Работа выполнена согласно заданию на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности в рамках проектной части госзадания Минобрнауки РФ НИР № 1622ПГЗ.

При концентрации кислорода на уровне 40 ppm количество хрупкоразрушенных оксидных включений заметно уменьшается, возрастает доля деформируемых силикатов ( $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ), длина которых находится в пределах 0,12 – 0,30 мм. При дальнейшем увеличении содержания кислорода неметаллические включения представлены в основном силикатами длиной 0,25 – 0,53 мм.

С целью определения характера и степени влияния технологических параметров раскисления и внепечной обработки стали на содержание общего кислорода в рельсовом прокате в условиях электросталеплавильного цеха ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» выполнено исследование, объектом которого явилась случайная выборка из 190 плавок рельсовой стали марки Э76Ф текущего производства.

В настоящее время технология производства рельсовой стали в электросталеплавильном цехе ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» включает в себя следующие стадии: выплавка в дуговых сталеплавильных печах емкостью 100 т каждая; внепечная обработка на агрегатах ковш – печь (АКП) и вакууматоре камерного типа; разливка на блюмовой машине непрерывного литья заготовок.

Анализировали влияние следующих технологических параметров на содержание общего кислорода в рельсовом прокате:

- содержания углерода в стали перед выпуском из печи;
- содержания кремния в стали в первой пробе на АКП;
- расхода коксовой мелочи при раскислении стали на выпуске;
- расхода силикомарганца при раскислении стали на выпуске;
- продолжительности продувки инертным газом при обработке на АКП;
- продолжительности обработки стали на вакууматоре.

Использовали методику парного регрессионного анализа.

Уравнение прямой регрессии, выражающее взаимосвязь переменных, имеет общий вид:

$$Y = aX + b,$$

где  $X$  и  $Y$  – независимая и зависимая переменные;  $a = r_{XY} \frac{S_Y}{S_X}$ ,  $b = \bar{Y} - a\bar{X}$  – коэффициенты уравнения регрессии;  $r_{XY}$  – парный коэффициент корреляции между переменными;  $S_X$ ,  $S_Y$  – средние квадратические отклонения переменных;  $\bar{X}$ ,  $\bar{Y}$  – средние арифметические значения переменных.

Парный коэффициент корреляции определяется по выражению

$$r_{XY} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{S_X S_Y},$$

где  $n$  – количество наблюдений в выборке.

При нелинейной взаимосвязи между переменными в зависимости от вида нелинейной функции используют различные методы расчета коэффициентов уравнения регрессии. Для полинома второго порядка  $Y = b + a_1X + a_2X^2$  расчет коэффициентов уравнения регрессии производится путем решения системы уравнений:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n Y_i = na + b \sum_{i=1}^n X_i + c \sum_{i=1}^n X_i^2; \\ \sum_{i=1}^n Y_i X_i = a \sum_{i=1}^n X_i + b \sum_{i=1}^n X_i^2 + c \sum_{i=1}^n X_i^3; \\ \sum_{i=1}^n Y_i X_i^2 = a \sum_{i=1}^n X_i^2 + b \sum_{i=1}^n X_i^3 + c \sum_{i=1}^n X_i^4. \end{cases}$$

Для решения приведенной системы уравнений используют метод Крамера, согласно которому  $a = \Delta a / \Delta$ ;  $b = \Delta b / \Delta$ ;  $c = \Delta c / \Delta$  (где  $\Delta$  – определитель системы;  $\Delta a$ ,  $\Delta b$ ,  $\Delta c$  – определители, полученные путем замены соответствующего столбца на столбец свободных членов).

Проверку надежности полученных уравнений регрессии проводили путем сравнения коэффициентов корреляции (детерминации) с критическими значениями согласно табличных данных.

Проведенным анализом установлено значимое влияние на содержание общего кислорода в металле следующих параметров: длительности продувки металла на установке ковш – печь (рис. 1) и расхода силикомарганца при раскислении стали на выпуске из печи (рис. 2). Остальные анализируемые параметры по полученным данным не оказывают значимого влияния на содержание кислорода в стали.

Установлено, что при увеличении длительности продувки стали на АКП наблюдается снижение концент-

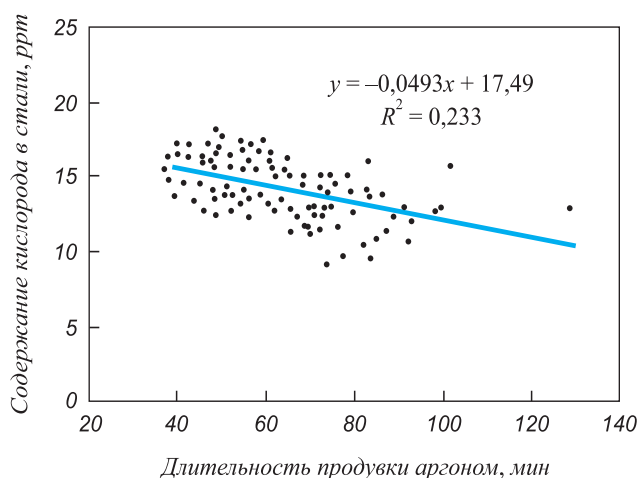


Рис. 1. Влияние длительности продувки аргоном на АКП на содержание кислорода в рельсовой стали

Fig. 1. Influence of blowing duration with argon at the aggregate ladle – furnace (ALF) on the content of oxygen in rail steel

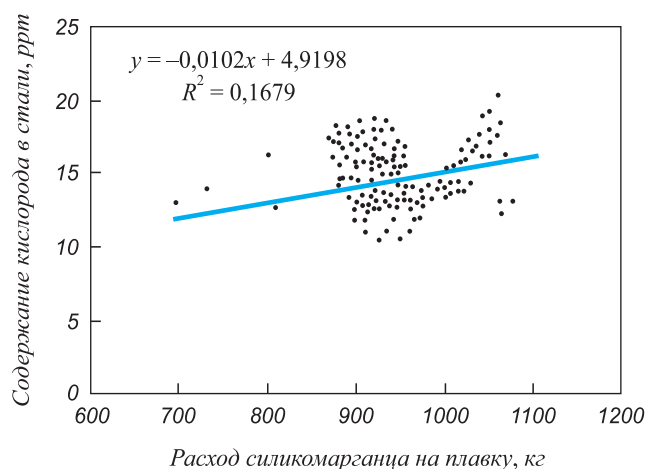


Рис. 2. Влияние расхода силикомарганца на выпуске из печи на содержание кислорода в рельсовой стали

Fig. 2. Influence of silicomanganese consumption during the output from the furnace on the content of oxygen in rail steel

рации общего кислорода в металле. Поскольку общее содержание кислорода в стали складывается из растворенного в металле кислорода и кислорода, связанного в неметаллические включения, то, очевидно, полученная зависимость (рис. 1) обусловлена снижением именно количества оксидных неметаллических включений.

При продувке стали в ковше инертными газами происходят перенос газовыми пузырями неметаллических включений в жидкий шлак и последующая ассимиляция включений шлаком. Процесс переноса включений пузырьками газа обусловлен общим свойством несмачиваемых жидкостью твердых частиц прилипать к находящимся в жидкости пузырькам газа – флотацией. При этом степень флотируемости зависит от размера частиц: при увеличении размеров включений степень флотируемости возрастает.

С точки зрения термодинамики процесса перехода неметаллических включений из металла в шлак лимитирующим звеном, определяющим эффективность очистки стали от включений, является стадия отрыва их от границы металл–шлак. Переход неметаллических включений с межфазной границы в шлак сопровождается повышением энергии Гиббса в системе металл–включение–шлак и поэтому является термодинамически невозможным. Однако в реальных условиях этот процесс протекает за счет действия различных факторов кинетического характера. Поэтому для повышения эффективности удаления неметаллических включений из стали необходимо осуществлять интенсивное обновление слоев шлака, приграничных к металлу, за счет кинетических факторов, в частности, продувки металла инертным газом.

Отсутствие взаимосвязи между содержанием кислорода в стали и параметрами, характеризующими окисленность расплава (содержанием углерода на выпуске из печи и содержанием кремния в первой ковшевой

пробе на АКП), обусловлено используемым порядком присадки раскислителей. В настоящее время присадку коксовой мелочи осуществляют после присадки силикомарганца, то есть в раскисленный металл. Доказательством такого предположения является тот факт, что увеличение в процессе выпуска металла из печи количества присадок силикомарганца приводит к увеличению содержания кислорода в готовой стали (рис. 2).

Отсутствие зависимости содержания кислорода в стали от основности шлака в процессе обработки на АКП обусловлено достаточно узким интервалом изменения значений этого параметра.

Таким образом, в ходе исследований выявлено положительное влияние увеличения длительности продувки инертным газом при обработке на АКП на загрязненность стали оксидными неметаллическими включениями.

Для определения технико-экономической эффективности увеличения длительности продувки аргоном на АКП проведена серия из 15 опытных плавов, на которых продолжительность продувки составляла не менее 100 мин. В качестве базы для сравнительного анализа использованы 19 плавов текущего производства, проведенных в этот же период.

По полученным данным (табл. 1) увеличение средней длительности продувки металла на агрегате ковш–печь с 63 до 122 мин привело к увеличению удельного расхода электроэнергии на АКП в среднем на 27,3 кВт·ч/т (с 64,9 до 92,2 кВт·ч/т стали) или на 42 %. Удельный расход аргона при этом увеличился на 0,32 м<sup>3</sup>/т (с 0,24 до 0,46 м<sup>3</sup>/т) или на 92 %. При этом качество рельсового проката, полученного в опытных плавках, удовлетворяет требованиям Регламента и нормативной документации по следующим параметрам:

- содержание химических элементов;
- содержание водорода;
- качество макроструктуры;
- уровень механических свойств в состоянии после прокатки.

На втором этапе исследований [15] проведена серия опытно-промышленных плавов, при раскислении использовали силикомарганец марки FeMnSi30HP производства ОАО «Сибирская горно-металлургическая компания Ферросплав» взамен традиционно используемого силикомарганца марки MnC18. Химический состав ферросплавов согласно требований ГОСТ 4756 – 91 представлен в табл. 2.

С использованием ферросплава марки FeMnSi30HP провели пять плавов рельсовой стали марки Э76Ф (категория Т1 – рельсы термоупрочненные). Выплавку, внепечную обработку и разливку металла опытных плавов проводили в соответствии с требованиями действующей нормативной документации. Для сравнения были выбраны технологические параметры 27 плавов, выплавленных непосредственно до и после проведения опытных плавов.

Т а б л и ц а 1

**Сравнительный анализ показателей плавков при различной длительности обработки на АКП**

*Table 1. Comparative analysis of melt rates at different processing duration at the aggregate ladle – furnace (ALF)*

Показатель	Значение показателя					
	опытные плавки (15 плавков)			текущее производство (19 плавков)		
	min	max	сред.	min	max	сред.
Длительность продувки аргоном на АКП, мин	103,0	146,0	<b>122,4</b>	52,0	72,0	<b>63,0</b>
Длительность продувки азотом на АКП, мин	0	25,0	<b>5,5</b>	0	0	<b>0</b>
Суммарная длительность продувки на АКП, мин	103,0	146,0	<b>126,4</b>	52,0	72,0	<b>63,0</b>
Расход аргона на продувку:						
м <sup>3</sup> /ч	15,90	43,20	<b>27,90</b>	16,70	30,80	<b>26,10</b>
м <sup>3</sup> /т	0,27	0,72	<b>0,46</b>	0,13	0,32	<b>0,24</b>
Расход азота на продувку:						
м <sup>3</sup> /ч	0	38,61	<b>7,37</b>	0	0	<b>0</b>
м <sup>3</sup> /т	0,07	0,142	<b>0,10</b>	0	0	<b>0</b>
Температура, °С:						
в начале обработки на АКП	1512,0	1599,0	<b>1549,1</b>	1496,0	1611,0	<b>1545,2</b>
в конце обработки на АКП	1614,0	1623,0	<b>1619,5</b>	1616,0	1630,0	<b>1620,4</b>
Удельный расход электроэнергии на АКП, кВт·ч/т	77,10	106,00	<b>92,20</b>	55,10	73,70	<b>64,94</b>
Расход феррованадия азотированного, кг/т	1,32	1,50	<b>1,44</b>	1,37	1,53	<b>1,44</b>

Т а б л и ц а 2

**Химический состав силикомарганца**

*Table 2. Chemical composition of silicomanganese*

Ферросплав	Содержание, %, элементов			
	Mn	Si	C	P
МnC18	более 65 до 75 включительно	более 15 до 20 включительно	не более 0,35	не более 0,03
FeMnSi30HP	более 57 до 67 включительно	более 28 до 35 включительно	не более 0,10	не более 0,20

По результатам проведенного промышленного эксперимента установлено следующее:

- среднее содержание кремния в металле опытных плавков перед обработкой на вакууматоре составило 0,319 %, на плавках сравнения 0,316 %;
- степень сквозного усвоения углерода и кремния в среднем увеличилась на 4 и 13 %, что достигнуто за счет более глубокого раскисления металла в процессе выпуска из печи, обусловленного введением большего количества кремния. Так, на выпуске металла из печи усвоение углерода возросло почти в два раза и составило на опытных плавках 49,67 %, на плавках сравнения – 24,60 %. Усвоение кремния увеличилось в 1,1 раза (93,60 % против 88,09 %);
- среднее содержание алюминия в металле опытных и сравнительных плавков составило 0,0022 и 0,0029 % соответственно.

С целью подтверждения полученных результатов и комплексной оценки технико-экономической эффектив-

ности использования ферросплава марки FeMnSi30HP проведена серия опытно-промышленных плавков, в том числе 62 плавки стали марки Э76Ф (категория Т1) и 19 плавков стали марки Э76Ф (категория НЭ).

По оценке механических свойств и макроструктуры рельсов, полученных при использовании опытной технологии, служебные характеристики металла соответствуют требованиям ГОСТ Р 51685 – 2000 и ТУ 0921-118-01124328 – 2003 и находятся на уровне плавков текущего производства (табл. 3, 4).

Расчет экономической эффективности провели исходя из фактически полученного расхода ферросплавов на опытных плавках при текущем уровне цен на ферросплавы. Расход ферросплавов при использовании опытной и существующей технологий раскисления рельсовой стали представлен в табл. 5.

При проведении опытных плавков пониженный расход ферросилиция получен в связи с тем, что содержание кремния в ферросплаве марки FeMnSi30HP выше, чем в силикомарганце МnC18. Также сле-

## Механические свойства горячекатаных рельсов

Table 3. Mechanical properties of hot-rolled rails

Параметр	$\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	Твердость на поверхности головки, НВ
Средние значения на опытных плавках (категория Т1)	601,4	1085,0	11,26	17,04	326,9
Средние значения за 2012 г. (категория Т1)	628,5	1086,8	10,72	17,79	328,3
Средние значения на опытных плавках (категория НЭ)	665,0	1095,0	11,50	17,00	317,0
Средние значения за 2012 г. (категория НЭ)	691,4	1128,6	9,82	15,87	336,8
Требования ГОСТ Р 51685 – 2000					
	–	не менее		–	–
		900	5,0		

## Механические свойства термоупрочненных рельсов

Table 4. Mechanical properties of heat-strengthened rails

Параметр	$\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$ , %	$\Psi$ , %
Средние значения на опытных плавках (категория Т1)	942,5	1270,0	11,25	32,0
Средние значения за 2012 г. (категория Т1)	920,4	1271,3	12,6	35,8
Средние значения на опытных плавках (категория НЭ)	920,0	1270,0	11,0	30,0
Средние значения за 2012 г. (категория НЭ)	911,6	1271,3	12,8	39,4
Требования ГОСТ Р 51685 – 2000				
	не менее			
	800	1180	8	25

Т а б л и ц а 5

## Расход ферросплавов при производстве стали Э76Ф

Table 5. Consumption of ferrous alloys when producing Eh76F steel

Ферросплав	Расход ферросплавов, кг/т		Отклонение, кг/т
	опытная технология	существующая технология	
<b>Категория рельсов Т1</b>			
МnC18	0,11	10,13	–10,02
ФC65	0,30	2,55	–2,25
FeMnSi30HP	12,16	0	+12,16
<b>Категория рельсов НЭ</b>			
МnC18	0,10	10,28	–10,18
ФC65	0,29	2,48	–2,19
FeMnSi30HP	11,76	0	+11,76

дует отметить, что применение незначительного (0,10 – 0,11 кг/т) количества силикомарганца марки МnC18 при проведении опытных плавков было выз-

вано необходимостью корректировки массовой доли марганца в металле в процессе обработки на установке вакуумирования.

По полученным расчетным данным экономическая эффективность при использовании нового ферросплава марки FeMnSi30HP для раскисления рельсовой стали Э76Ф составила 13,99 и 32,64 руб./т стали для рельсов категорий Т1 и НЭ соответственно.

**Выводы.** Исследованиями, проведенными в условиях электросталеплавильного цеха ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК», установлено, что увеличение длительности продувки рельсовой стали инертным газом при обработке на агрегате ковш – печь с 63 до 122 мин способствует уменьшению количества оксидных неметаллических включений, при этом остальные контролируемые параметры качества готовых рельсов не ухудшаются. Промышленными экспериментами доказана технико-экономическая эффективность использования силикомарганца марки FeMnSi30HP вместо силикомарганца марки МnC18 для раскисления рельсовой стали в условиях электросталеплавильного цеха ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК». Степень сквозного усвоения углерода и кремния повышается на 4 и 13 %, при этом механические свойства



и макроструктура рельсов, полученных при использовании опытной технологии, находятся на уровне плавок текущего производства. Экономическая эффективность при использовании нового ферросплава марки FeMnSi30HP составила 13,99 и 32,64 руб./т для рельсов категорий Т1 и НЭ.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дерябин А.А., Рабовский В.А., Шур Е.А. Повышение требований к качеству железнодорожных рельсов в новом национальном стандарте // *Сталь*. 2000. № 11. С. 82 – 85.
2. Синельников В.А., Филиппов Г.А. Технологические аспекты повышения качества и уровня потребительских свойств железнодорожных рельсов // *Металлург*. 2001. № 10. С. 50 – 52.
3. Соли Р., Райф Р. Продление срока службы рельсов и колес // *Железные дороги мира*. 2000. № 9. С. 62 – 65.
4. Рейхарт В.А. О критериях качества железнодорожных рельсов. – В кн.: Влияние свойств металлической матрицы на эксплуатационную стойкость рельсов: сб. науч. тр. – Екатеринбург: ГНЦ РФ ОАО «УИМ», 2006. С. 104 – 115.
5. Дерябин А.А., Добужская А.В. Исследование эффективности процессов раскисления, модифицирования и микрорегирования рельсовой стали // *Сталь*. 2000. № 11. С. 38 – 43.
6. Шур Е.А., Трушевский С.М. Влияние неметаллических включений на разрушение рельсов и рельсовой стали. – В кн.: Неметаллические включения в рельсовой стали: сб. науч. тр. – Екатеринбург: ГНЦ РФ ОАО «УИМ», 2005. С. 87 – 94.
7. Георгиев М.Н. Трещиностойкость железнодорожных рельсов. – Кемерово, 2006. – 212 с.
8. Абдурашитов А.Ю. Закономерности образования контактно усталостных дефектов // *Путь и путевое хозяйство*. 2002. № 11. С. 16 – 20.
9. Ахметзянов М.Х., Суровин П.Г. Образование и развитие контактно усталостных повреждений в рельсах // *Железнодорожный транспорт*. 2003. № 5. С. 60 – 65.
10. Рейхарт В.А. Надежность рельсов с трещинами // *Путь и путевое хозяйство*. 2006. № 1. С. 12 – 14.
11. Сосновский Л.А., Сенько В.П. Проблема колеса/рельс с позиции трибофатики. – В кн.: Влияние свойств металлической матрицы на эксплуатационную стойкость рельсов: сб. науч. тр. – Екатеринбург: ГНЦ РФ ОАО «УИМ», 2006. С. 215 – 228.
12. Абдурашитов А.Ю., Крысанов Л.Г. Трещиностойкость рельсов с учетом условий эксплуатации // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2000. № 1. С. 43 – 45.
13. Козырев Н.А., Протопопов Е.В., Айзатулов Р.С., Бойков Д.В. Новая технология производства рельсовой стали // *Изв. вуз. Черная металлургия*. 2012. № 2. С. 25 – 29.
14. Козырев Н.А., Бойков Д.В. Возможности улучшения качества рельсовой стали // *Электрометаллургия*. 2012. № 1. С. 30 – 33.
15. Протопопов Е.В., Павлов В.В., Козырев Н.А., Уманский А.А., Бойков Д.В. Анализ технико-экономической эффективности использования различных вариантов раскисления рельсовой стали. – В кн.: Сборник трудов XIII Международного конгресса сталеплавильщиков (г. Полевской, 12 – 18 октября 2014 г.). – Москва-Полевской, 2014. С. 256 – 258.

Поступила 9 июля 2014 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2015. VOL. 58. NO. 10, PP. 721–727.

### IMPROVED DEOXIDATION TECHNOLOGIES AND SECONDARY TREATMENT OF RAIL ELECTRIC STEEL IN ORDER TO IMPROVE THE QUALITY OF RAILWAY ROLLING

*N.A. Kozyreva<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Chair "Materials, Foundry and Welding Production"*

(kozzyrev\_na@mts.sibsiu.ru)

*E.V. Protopopov<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Rector*

*A.A. Umanskiy<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair of Ferrous Metallurgy*

*D.V. Boikov<sup>2</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Head of the Steel-Making Department*

<sup>1</sup>*Siberian State Industrial University (42, Kirova str., Novokuznetsk, Kemerovo Region, 654007, Russia)*

<sup>2</sup>*OJSC "EVRAZ – Joint West Siberian Metallurgical Plant" (16, Kosmicheskoe route, Novokuznetsk, Kemerovo Region, 654043, Russia)*

**Abstract.** The studies conducted under the conditions of the electric-furnace melting shop of "EVRAZ ZSMK" have shown that the increase of the duration of the rail steel blowing with an inert gas, when processing at the aggregate "ladle-furnace" from 63 to 122 min., reduces the number of oxide non-metallic inclusions; while the remaining controlled quality parameters of finished rails are not worsen. Production experiments have proved the technical and economic efficiency of silicomanganese of FeMnSi30HP brand instead of silicomanganese of MnS18 brand for deoxidation of rail steel under the conditions of the electric-furnace melting shop of "EVRAZ ZSMK". An increase in the degree of pass-through assimilation of carbon and silicon has been found (by 4 % and 13 % respectively). The mechanical properties and microstructure of rails, obtained when using experimental techniques, are at the current melting production. According

to the obtained calculated data from the use of cost-effectiveness of a new brand of ferroalloy FeMnSi30HP is 13.99-32.64 rubles/t for the rails of different categories.

**Keywords:** nonmetallic inclusions, rail steel, operational stability, inert gas blowing, deoxidation, ferroalloys, mechanical properties, macrostructure.

**DOI:** 10.17073/0368-0797-2015-10-721-727

#### REFERENCES

1. Deryabin A.A., Rabovskii V.A., Shur E.A. Increase of the requirements to the rails quality in a new national standard. *Stal'*. 2000, no. 11, pp. 82–85. (In Russ.).
2. Sinel'nikov V.A., Filippov G.A. Technological aspects of improvement in rail quality. *Metallurg*. 2001, no. 10, pp. 50–52. (In Russ.).
3. Soli R., Raif R. Extension of the services of rails and wheels. *Zheleznye dorogi mira*. 2000, no. 9, pp. 62–65. (In Russ.).
4. Reikhart V.A. On the quality criteria of rails. In: *Vliyanie svoistv metallicheskoj matritsy na ekspluatatsionnyuyu stoikost' rel'sov: sb. nauch. tr.* [Influence of the properties of metal matrix on the operational stability of rails: collected scientific papers]. Ekaterinburg: State Scientific Center RF JSC "Ural Institute of Metals", 2006, pp. 104–115. (In Russ.).
5. Deryabin A.A., Dobuzhskaya A.V. Research of the efficiency of deoxidation processes, modification and microalloying of rail steel. *Stal'*. 2000, no. 11, pp. 38–43. (In Russ.).
6. Shur E.A., Trushevskii S.M. Influence of non-metallic inclusions on the destruction of rails and rail steel. In: *Nemetallicheskie vkl'yucheniya v rel'sovoi stali: sb. nauch. tr.* [Nonmetallic inclusions in rail steel: collected scientific papers]. Ekaterinburg: State Scien-

- tific Center RF JSC "Ural Institute of Metals", 2005, pp. 87–94. (In Russ.).
7. Georgiev M.N. *Treshchinostoičnost' zheleznodorozhnykh rel'sov* [Crack resistance of rails]. Kemerovo, 2006. 212 p. (In Russ.).
  8. Abdurashitov A.Yu. Formation regularities of contact fatigue defects. *Put' i putevye khozyaistvo*. 2002, no. 11, pp. 16–20. (In Russ.).
  9. Akhmetzyanov M.Kh., Surovin P.G. Formation and continuation of contact fatigue damages in rails. *Zheleznodorozhnyi transport*. 2003, no. 5, pp. 60–65. (In Russ.).
  10. Reikhart B.A. Durability of rails with cracks. *Put' i putevye khozyaistvo*. 2006, no. 1, pp. 12–14. (In Russ.).
  11. Sosnovskii L.A., Sen'ko V.P. The problem of wheel/rail from the position of Tribo-Fatigue. In: *Vliyanie svoistv metallicheskoj matritsy na ekspluatatsionnyu stoikost' rel'sov: sb. nauch. tr.* [Influence of the properties of metal matrix on the operational stability of rails: collected scientific papers]. Ekaterinburg: State Scientific Center RF JSC "Ural Institute of Metals", 2006, pp. 215–228. (In Russ.).
  12. Abdurashitov A.Yu., Krysanov L.G. Crack resistance of rails taking into account the service conditions. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*. 2000, no. 1, pp. 43–45. (In Russ.).
  13. Kozyrev N.A., Protopopov E.V., Aizatulov R.S., Boikov D.V. New technology of rail steel production. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2012, no. 2, pp. 25–29. (In Russ.).
  14. Kozyrev N.A., Boikov D.V. Improvement opportunities of rail steel quality. *Elektrometallurgiya*. 2012, no. 1, pp. 30–33. (In Russ.).
  15. Protopopov E.V., Pavlov V.V., Kozyrev N.A., Umanskii A.A., Boikov D.V. Analysis of technical and economic efficiency of different variants of rail steel deoxidation. In: *Sbornik trudov XIII Mezhdunarodnogo kongressa staleplavil'shchikov (g. Polevskoi, 12–18 oktyabrya 2014 g.)* [Proceedings of the XIII International Congress of steelmakers (Polevskoi, October 12–18, 2014)]. Moscow–Polevskoi, 2014, pp. 256–258. (In Russ.).
- Acknowledgements.** The work was performed in accordance with the instructions in the area of scientific activities within the project of the state task of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation no.1622ПГ3.

Received July 9, 2014