

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«Сибирский государственный индустриальный университет»**

**НАУКА И МОЛОДЕЖЬ:  
ПРОБЛЕМЫ, ПОИСКИ, РЕШЕНИЯ**

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**ВЫПУСК 26**

*Труды Всероссийской научной конференции  
студентов, аспирантов и молодых ученых  
17 – 18 мая 2022 г.*

**ЧАСТЬ V**

Под общей редакцией профессора С.В. Коновалова

**Новокузнецк  
2022**

ББК 74.48.288

Н 340

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, профессор Коновалов С.В.,  
д-р техн. наук, профессор Кулаков С.М.,  
канд. техн. наук, доцент Алешина Е.А.,  
канд. техн. наук, доцент Чаплыгин В.В.  
канд. техн. наук, доцент Риб С.В.  
канд. техн. наук, доцент Шевченко Р.А.

Н 340

Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 17–18 мая 2022 г. Выпуск 26. Часть V. Технические науки / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет ; под общ. ред. С.В. Коновалова – Новокузнецк; Издательский центр СибГИУ, 2022. – 446 с. : ил.

ISSN 2500-3364

Представлены труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых по результатам научно-исследовательских работ. Пятая часть сборника посвящена актуальным вопросам в области новых информационных технологий и систем автоматизации управления, строительства, перспективных технологий разработки месторождений полезных ископаемых, металлургических процессов, технологий, материалов и оборудования

Материалы сборника представляют интерес для научных и научно-технических работников, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

ISSN 2500-3364

© Сибирский государственный  
индустриальный университет, 2022

## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В КОНВЕРТЕРНОЙ СПОКОЙНОЙ СТАЛИ

Есмаков Е.М., Есмакова А.С.

Научный руководитель: д-р техн. наук, доцент Уманский А.А.

Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: [umanskii@bk.ru](mailto:umanskii@bk.ru)

На основании проведенных исследований установлены закономерности изменения загрязненности неметаллических включениями стали Зсп по стадиям ее производства в кислородно-конвертерном цехе АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Определено и обосновано содержание углерода и марганца в стали на выпуске из конвертера на ее загрязненность оксидными включениями.

Ключевые слова: неметаллические включения, окисленность, сталь, раскисление, химический состав

Загрязненность неметаллическими включениями является одной из наиболее значимых характеристик качества стали вне зависимости от способа ее производства и химического состава. Несмотря на значительное количество работ, посвященных процессам образования неметаллических включений [1-3], исследования в данном направлении продолжают оставаться актуальными. Это обусловлено отсутствием среди исследователей единого мнения, как о природе образования и трансформации включений различных видов, так и об их влиянии на качество и свойства стальных изделий.

В данной работе проведены исследования неметаллических включений на различных стадиях производства в кислородно-конвертерном цехе №2 АО «ЕВРАЗ ЗСМК»:

- в жидкой стали после окончания продувки (при повалке конвертера);
- в жидкой стали после раскисления в сталеразливочном ковше;
- в жидкой стали после обработки на агрегате «ковш-печь»;
- в непрерывнолитых заготовках.

В качестве объекта исследования использовали сталь марки Зсп. Отбор проб жидкого металла на первых трех вышеприведенных стадиях производства (из конвертера при повалке и из сталеразливочного ковша после раскисления и после обработки на агрегате «ковш-печь») производили с использованием одноразовых погружных пробоотборников «ЕВРАЗСАМП ES». Для отбора проб от непрерывнолитых заготовок использовалась следующая методика. От хвостовой части непрерывнолитых заготовок сечением 150×150 мм с помощью пил холодной резки отрезали пробы шириной порядка 200 мм, из которых, затем, проводили вырезку темплетов. После чего из различных зон полученных темплетов вырезали образцы, что имело целью нивелировать влияние режимов охлаждения в процессе непрерывной

разливки стали, а также большого и малого радиусов МНЛЗ. Следует отметить, что рассматриваемая сортовая МНЛЗ кислородно-конвертерного цеха №2 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» конструктивно является 8-ми ручевой машиной криволинейного типа с радиусами изгиба заготовки 12 м и 22 м.

Количественный анализ неметаллических включений на пробах, отобранных в конвертере и сталеразливочном ковше, а также на пробах, отобранных от непрерывнолитых заготовок, проводили с использованием стандартной методики металлографического анализа рекомендованной ГОСТ 1778-70 для исследования микроструктуры литой (недеформированной) стали (методика Л2 согласно 1778-70). Загрязненность включениями плавки определяется по формуле:

$$I = \frac{b \cdot \sum a_i \cdot m_i}{l}$$

где  $b$  – цена деления окулярной шкалы при данном увеличении в мкм;

$a_i$  – среднее значение размеров включений в делениях окулярной шкалы;

$m_i$  – количество включений данной группы;

$l$  – длина подсчета в мкм.

Загрязненность шлифов оценивали по кислородным включениям.

Анализ вида неметаллических включений в непрерывнолитых заготовках проводили с использованием стандартной методики ГОСТ 1778-70. Для исследований использовали металлографический микроскоп OLIMPUS GX-51.

Проведенный анализ изменения абсолютного количества оксидных неметаллических включений по рассмотренным стадиям производства показал их увеличение после проведения раскисления с последующим снижением после обработки на АКП и некоторым увеличением в непрерывнолитых заготовках (рисунок 1).

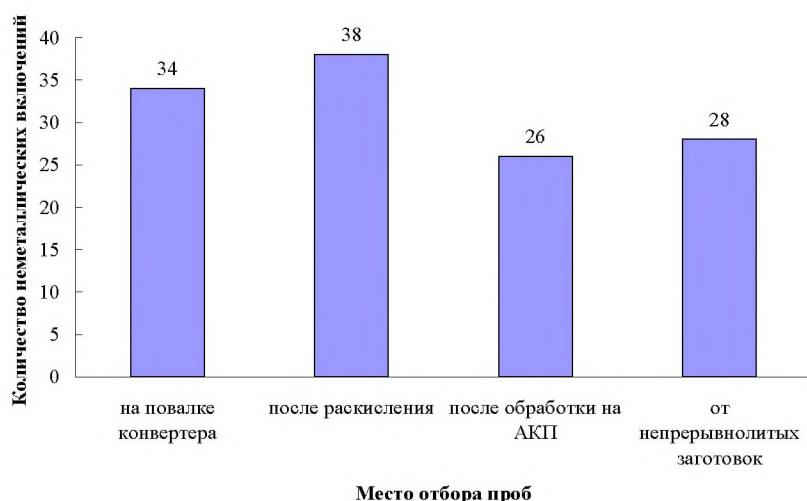


Рисунок 1 – Динамика изменения загрязненности стали неметаллическими включениями по стадиям производства в конвертерном цехе

Известно, что содержание неметаллических включений в металле перед раскислением зависит от соотношения их прихода и расхода по ходу плавки. По ходу продувки основными источниками поступления в металл оксидных включений являются: частицы, вносимые чугуном и скрапом, продукты разрушения футеровки, конденсированные продукты реакций окисления примесей чугуна ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{FeO}$ ), эмульгированные в металле частицы шлака (в результате механического перемешивания шлака с металлом струей кислорода и пузырями  $\text{CO}$ ). При этом одновременно с загрязнением металла протекает противоположный процесс – очищение стали от включений в результате ассимиляции быстро всплывающими крупными каплями шлака взвешенных в ванне мелких частичек («промывание» металла шлаком) и флотирующего действия пузырей  $\text{CO}$  («прилипание» частичек к пузырям). В результате протекания реакций раскисления закономерно происходит увеличение количества оксидных включений, и степень этого увеличения изменяется симбатно  $[\text{O}]$  перед раскислением. Используемая при обработке на АКП продувка инертным газом приводит к достаточно заметному снижению количества неметаллических включений, что объясняется флотирующим действием пузырьков используемого газа. В процессе транспортировки металла в сталеразливочном ковше от АКП до МНЛЗ происходит некоторое увеличение количества оксидных включений, что обусловлено протеканием реакций вторичного окисления.

По полученным данным основными видами неметаллических включений в непрерывнолитых заготовках являются оксиды точечные (рисунок 2). Установлено, что на снижение загрязненности оксидными включениями значимое влияния оказывает повышение содержания углерода и марганца на выпуске из конвертера (рисунки 3 и 4).



Рисунок 2 – Характерные неметаллические включения в непрерывнолитых заготовках стали Зсп

Полученный характер влияния содержания углерода в стали на загрязненность неметаллическими включениями объясняется тем, что концентра-

ция и активность кислорода в конвертерной стали в конце продувки повышаются при уменьшении содержания углерода в расплаве. Влияние марганца связано с замедлением процесса кипения в конце продувки при низком (менее 0,08-0,10 %) [4-5] содержании углерода. Увеличение содержания марганца в стали в конце продувки обуславливает снижение концентрации кислорода, так зависимостью между активностью закиси железа в шлаке и содержанием марганца в металле является обратной [6-7].

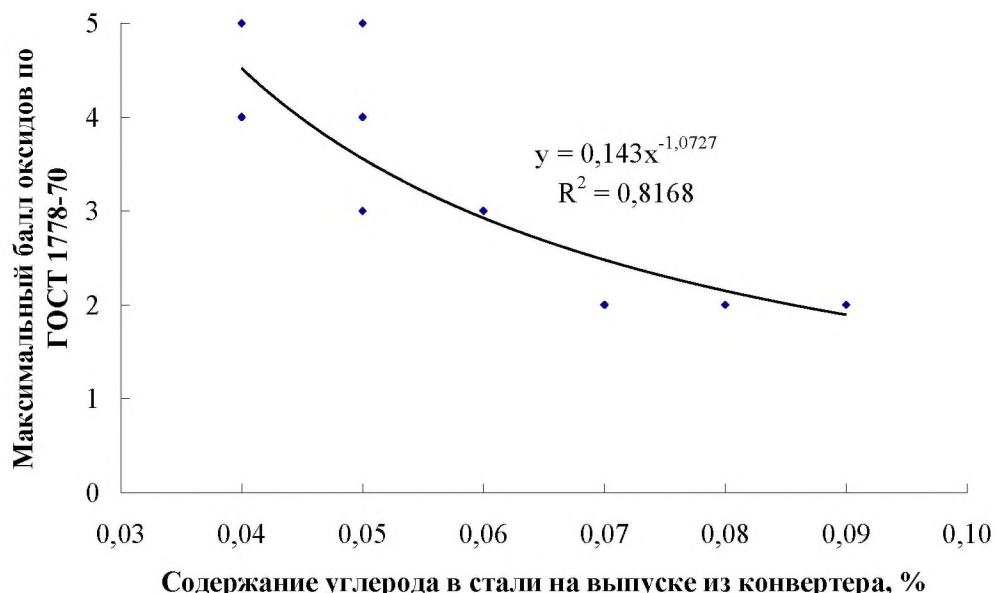


Рисунок 3 – Влияние содержания углерода в стали Зсп на выпуске из конвертера на загрязненность неметаллическими включениями

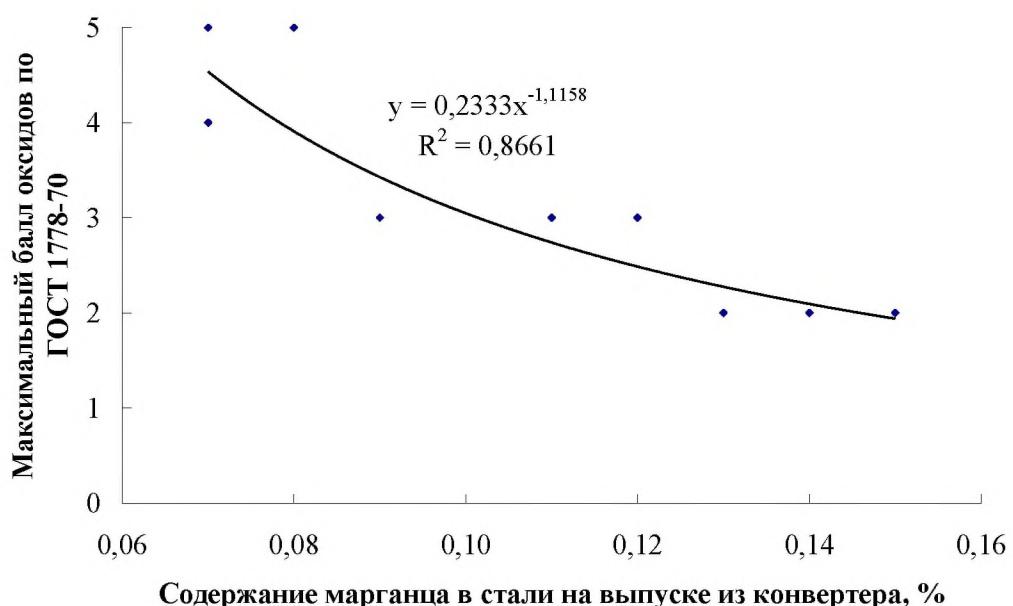


Рисунок 4 – Влияние содержания марганца в стали Зсп на выпуске из конвертера на загрязненность неметаллическими включениями

## Библиографический список

1. Голубцов В.А. Теория и практика введения добавок в сталь вне печи / В.А. Голубцов. – Челябинск, 2006. – 423 с.
2. Явойский В.И. Генезис формирования неметаллических включений при кристаллизации / В.И. Явойский, С.А. Близнюков, Л.С. Горюхов. // Исследование и пути совершенствования процессов производства стали – М.: Металлургия, 1970. – С. 4-17.
3. Губенко С.И. Трансформация неметаллических включений / С.И. Губенко. – М.: Металлургия, 1991. – 224 с.
4. Назюта Л.Ю. Анализ окисленности конечного металла при выплавке стали в большегрузных конвертерах / Л.Ю. Назюта, В.С. Денисенко // Вестник Приазовского государственного технического университета. – 2011. – Вып.22. – С. 68-76.
5. Баптизманский В.И. Теория кислородно-конвертерного процесса / В.И. Баптизманский. – М.: Металлургия, 1975. – 376 с.
6. Бойченко Б.М. Конвертерное производство стали: теория, технология, качество стали, конструкции агрегатов, рециркуляция материалов и экология: учебник / Б.М. Бойченко, В.Б. Охотский, П.С. Харлашин. – Днепропетровск: Днепр-ВАЛ, 2006. – 454 с.
7. Шишкин Ю.И. Теория и технология конвертерных процессов / Ю.И. Шишкин, А.К. Торговец, О.А. Григорова. – Алматы: Фылым, 2013. – 192 с.

УДК 669.184

### **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЫПЛАВКИ, ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ И РАЗЛИВКИ СТАЛИ НА КАЧЕСТВО СЛИТКОВ**

**Есмаков Е.М.**

**Научный руководитель: д-р техн. наук, доцент Уманский А.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк, e-mail: umanskii@bk.ru*

Комплексными статистическими исследованиями установлены закономерности влияния параметров выплавки, внепечной обработки и разливки стали Зпс в изложницы на качество слитков и получаемых из них заготовок.

Ключевые слова: выплавка стали, кислородный конвертер, разливка в изложницы, качество макроструктуры, поверхностные дефекты

Одной из основных тенденций современного этапа развития черной металлургии является постоянное повышение требований к качеству стали и готового металлопроката. Процессы формирования качества стали связаны с

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ SLAM В УСЛОВИЯХ БЕЗЛЮДНОЙ ВЫЕМКИ УГЛЯ	
<i>Манаников С. Д., Панфилов В. Д.</i> .....	357
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР УГОЛЬНОЙ ОТРАСЛИ, ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ РЕАЛИЗАЦИИ В КУЗБАССЕ	
<i>Панфилов В.Д.</i> .....	361
ОРГАНИЗАЦИЯ СТЕНДА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ ГИДРОЦИЛИНДРОВ НА РАЗРЕЗЕ «ЕРУНАКОВСКИЙ»	
<i>Апенкин Д.Е.</i> .....	366
ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	
<i>Гельгенберг И.О.</i> .....	369
АВТОМАТИЗАЦИЯ АЭРОГАЗОВОГО КОНТРОЛЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ЗАПЫЛЁННОСТИ	
<i>Панфилов В.Д., Манаников С.Д.</i> .....	373
ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ ПРИ ВЕДЕНИИ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ В СЕВЕРНЫХ РЕГИОНАХ РОССИИ.	
<i>Коновалова О.Ю., Курдюков М.О.</i> .....	378
РЕКОНСТРУКЦИЯ ТОРМОЗА МЕХАНИЗМА ХОДА ЭКСКАВАТОРА ЭКГ-5А	
<i>Васильев В.С.</i> .....	382
<b>IV МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ</b>	387
АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЖЕЛЕЗА ПРЯМОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРИ ВЫПЛАВКЕ РЕЛЬСОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАЛИ	
<i>Думова Л.В.</i> .....	387
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОТБРАКОВАННЫХ ЗАГОТОВОК РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ НА СВОЙСТВА ПРОИЗВОДИМЫХ ИЗ НИХ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ	
<i>Сафонов С.О.</i> .....	391
ВНЕДРЕНИЕ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В КУЗБАССЕ	
<i>Гашникова А.О., Панфилов В.Д.</i> .....	395
ЭНЕРГЕТИКА/ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА РОССИИ В СВЕТЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ПАРИЖСКОГО СОГЛАШЕНИЯ	
<i>Кириляк М.В.</i> .....	401
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В КОНВЕРТЕРНОЙ СПОКОЙНОЙ СТАЛИ	
<i>Есмаков Е.М., Есмакова А.С.</i> .....	406
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЫПЛАВКИ, ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ И РАЗЛИВКИ СТАЛИ НА КАЧЕСТВО СЛИТКОВ	
<i>Есмаков Е.М.</i> .....	410