

**ВЕСТНИК
РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ
ЕСТЕСТВЕННЫХ
НАУК**

(Западно–Сибирское
отделение)

**Выпуск 22,
2019 г.**

Редакционная коллегия

Е.В. Протопопов

(отв. редактор)

М.В. Темлянец

(зам. отв. редактора)

В.Г. Лукьянов

В.М. Самаров

П.С. Чубик

Г.Д. Антонов

Печатается по решению

Президиума

Западно–Сибирского

отделения Российской

академии

естественных наук

© Российская академия
естественных наук,
Западно–Сибирское
отделение, 2019

© Издательский центр
Сибирского
государственного
индустриального
университета

Адрес редакции: 654007
г. Новокузнецк, ул.
Кирова, 42,
Сибирский
государственный
индустриальный
университет
тел. 8–3843–78–44–55
[http: www.sibsiu.ru](http://www.sibsiu.ru)

ISSN 2311–9519

Содержание

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА.....	3
В.И. Исаев, Г.Г. Номоконова, А.О. Алеева	
ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗРЕЗА ГЕРАСИМОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПАЛЕОЗОЙСКОЙ НЕФТИ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ).....	3
В.И. Исаев, Г.А. Лобова, Т.Е. Лунёва, А.С. Меренкова	
ГЕОТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ НЕФТЕМАТЕРИНСКОЙ ТОГУРСКОЙ СВИТЫ - ИСТОЧНИКА УГЛЕВОДОРОДОВ ДОЮРСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО КОМПЛЕКСА СЕВЕРО- ЗАПАДА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ.....	9
В.И. Исаев, Д.С. Крутенко, М.Ф. Галиева	
ГЕОТЕРМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ОСТАНИНСКОЙ ГРУППЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ).....	14
И. Г. Ященко	
КЛАССИФИКАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СВОЙСТВ НЕФТЕЙ С РАЗЛИЧНЫМИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ И КАЧЕСТВЕННЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ.....	19
В.В. Ростовцев, Е.Ю. Липихина, В.Г. Лукьянов, В.Н. Ростовцев	
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ.....	29
ГЕОТЕХНОЛОГИЯ И ГЕОМЕХАНИКА.....	37
В. А. Домаренко, А.Я. Пшеничкин, В.П. Дмитриенко	
КОМПЛЕКСНЫЕ РУДЫ БАКЧАРА: ИСТОРИЯ И ПРЕСПЕКТИВЫ.....	37
В.А. Домаренко, В.И. Молчанов	
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТИПА «КАРЛИН» В ЮГО-ЗАПАДНОМ ОБРАМЛЕНИИ СИБИРСКОГО КРАТОНА.....	50
МЕТАЛЛУРГИЯ.....	55
В.В. Солоненко, Е.В. Протопопов, С.С. Щипанов, А.В. Амелин, М.В. Темлянец	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОДУВКИ КОНВЕРТЕРНОЙ ВАННЫ НА КАЧЕСТВО МИКРОСТРУКТУРЫ СТАЛИ, НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК И ГОТОВОГО ПРОКАТА.....	55
Н.А. Козырев, Р.А. Шевченко, С.Н. Кратько, Р.Е. Крюков, А.Р. Михно, В.Е. Хомичева	
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ДЛИННОМЕРНЫХ РЕЛЬСОВЫХ.....	66
В.А. Кузнецов, Р.А. Шевченко, Н.А. Козырев, А.А. Усольцев, В.Е. Хомичева	
ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЛЬСОВЫХ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ.....	80
Н.А. Козырев, А.А. Усольцев, Р.Е. Крюков, А.И. Гусев, И.В. Осетковский, В.Е. Хомичева	
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НОВЫХ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК ДЛЯ НАПЛАВКИ.....	85
В. В. Стерлигов, И. В. Зоря, М. В. Стерлигов	
АНАЛИЗ РАБОТЫ И ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ.....	105

УДК 669.184.244.62

*В.В. Солоненко¹, Е.В. Протопопов¹,
С.С. Щипанов², А.В. Амелин², М.В. Темлянец¹*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОДУВКИ
КОНВЕРТЕРНОЙ ВАННЫ НА КАЧЕСТВО МИКРОСТРУКТУРЫ
СТАЛИ, НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК И ГОТОВОГО ПРОКАТА**

*¹ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
г. Новокузнецк*

*²АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат»,
г. Новокузнецк*

Одним из перспективных направлений совершенствования технологии кислородно-конвертерного производства является применение многоструйных фурм с соплами Лаваля, которые обеспечивают достижение сверхзвуковых скоростей истечения кислорода и более глубокое проникновение дутья в расплав. При этом наиболее прогрессивной является конструкция кислородных фурм с соплами Лаваля, оснащенными цилиндрическим насадком. Использование на завершающем этапе продувки составных сопел позволяет организовать «жесткий» режим истечения кислородной струи, снизить окисленность шлака, повысить качество металла и ряд технико-экономических показателей конвертерной плавки [1, 2].

В рамках проведенной работы представлены результаты исследования качества стали при применении новой технологии продувки с использованием составных сопел [1, 2] для изменения аэродинамики струи и снижения окисленности расплава.

Методика проведения исследований

Для оценки изменения качества стали произведен отбор проб от 20 плавов стали 09Г2С текущего производства (база для сравнения) и 20 плавов, проведенных с использованием разработанного режима продувки конвертерной ванны этой же марки стали. Выбор плавов текущего производства,

использованных в качестве базы для сравнения, производили исходя из соблюдения условия максимального совпадения основных параметров производства (за исключением режима продувки) с соответствующими параметрами опытных плавов.

Отбор проб проводили на следующих стадиях производства: после окончания продувки (при повалке конвертера); после обработки на агрегате «ковш-печь»; от непрерывнолитых заготовок; в готовом прокате.

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» (рисунок 1 а). Такие пробоотборники состоят из запрессованной в бумажную гильзу головки (рисунок 1 б), которая в свою очередь состоит из закрепленной в песчаном теле и закрытой шлакозащитным колпачком стальной изложницы (рисунок 2).

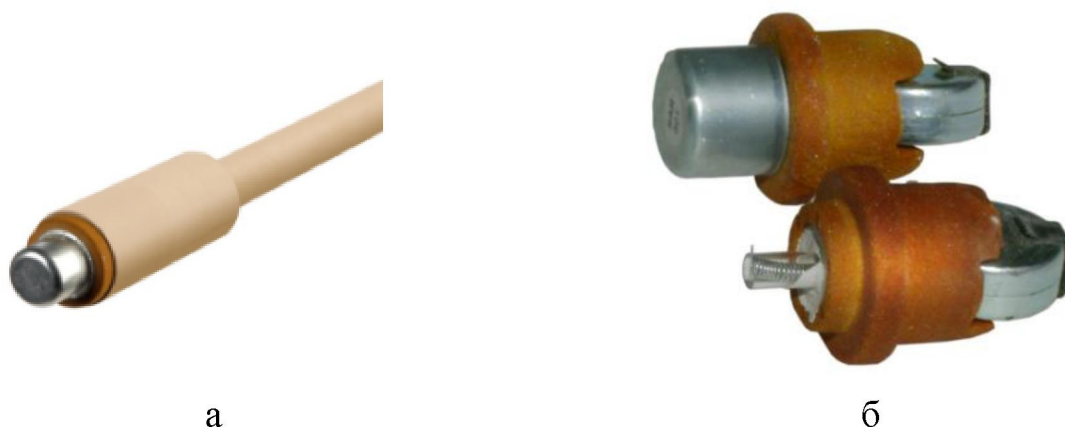
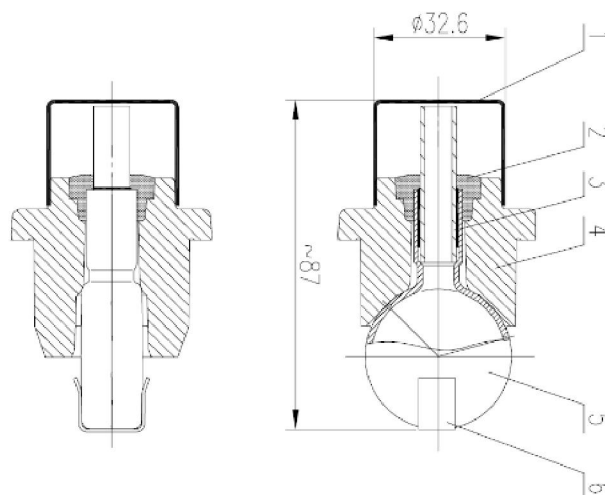


Рисунок 1. Погружной пробоотборник «ЕВРАЗСАМП ES»:

а – общий вид; б – головка пробоотборника

Такой пробоотборник надевается на арматуру и опускается в расплав (при ручном отборе пробы) или одевается на манипулятор (при автоматическом отборе пробы). Продолжительность погружения в расплав составляет 5-10 с, глубина погружения – ниже уровня шлака, но не более $2/3$ длины пробоотборника. При погружении колпачок расплавляется и жидкая сталь по кварцевой трубке поступает в изложницу.



1 – стальной защитный колпачок; 2 – мастика; 3 – кварцевая трубка;
4 – песчаное тело; 5 – стальная изложница; 6 – стальная скоба
Рисунок 2. Схематичное изображение пробоотборника «ЕВРАЗСАМП ES»

Проба, полученная при помощи пробоотборника может иметь вид круга диаметром 35 мм и толщиной 12 мм или овала 35×40мм и толщиной 12мм (рисунок 3).



Рисунок 3. Общий вид пробы, полученной пробоотборником
«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 ручьевой машиной криволинейного типа с радиусами изгиба заготовки 12 м и 22 м.

Для приготовления шлифов использовали стандартную методику, включающую в себя многократные переходы от крупнозернистого к мелкозернистому абразивному материалу. При этом переход от одного абразивного материала к другому должен сопровождаться тщательной промывкой, что имеет целью предотвратить возможное загрязнение мелкозернистого материала частицами ранее использовавшегося абразивного материала. Также необходимым условием является изменение направления шлифования на 90^0 с каждым переходом и применение охлаждения для предотвращения прижога поверхности шлифа.

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 шлифов оценивали по кислородным включениям.

Отбор проб от готового проката на среднесортном стане «450» проводили от хвостовой части раскатов. Использовали вышеописанную методику приготовления шлифов. Анализ неметаллических включений в пробах от готового проката проводили с использованием методики Ш1 по ГОСТ 1778-70 (при увеличении в 100 крат.). Сущность указанной методики заключается в сравнении наблюдаемых в нетравленном микрошлифе включений со стандартными эталонными пятибалльными шкалами. При этом шкалы охватывают неметаллические включения нескольких видов, наиболее часто встречающихся в стали: оксиды строчечные, оксиды точечные, силикаты хрупкие, силикаты пластичные, силикаты недеформирующиеся, сульфиды, нитриды и карбонитриды строчечные, нитриды и карбонитриды точечные, нитриды алюминия.

Для исследований использовали металлографический микроскоп OLIMPUS GX-51. Изучение состава неметаллических включений проводили с использованием растрового электронного микроскопа «Philips SEM 515», оснащенного микроанализатором EDAX Genesis.

Анализ результатов исследований

В результате обобщения полученных данных о количественных характеристиках неметаллических включений установлено, что использование новой технологии продувки позволяет значительно снизить загрязненность стали оксидными включениями по сравнению с плавками, проведенными по стандартной технологии (рисунок 4). Отмеченное снижение количества неметаллических включений составило в относительном выражении: 26 % – после окончания продувки стали; 24 % – после раскисления стали; 19 % – после обработки стали на АКП и 18 % – в непрерывнолитых заготовках.

Анализ изменения абсолютного количества оксидных неметаллических включений по рассмотренным стадиям производства показывает их увеличение после проведения раскисления с последующим снижением после обработки на АКП и некоторым увеличением в непрерывнолитых заготовках. 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 (SiO_2 , MnO , FeO), эмульгированные в металле частицы шлака (в результате механического перемешивания шлака с металлом струей кислорода и пузырями 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 CO («прилипание» частичек к пузырям). В результате протекания реакций раскисления закономерно происходит увеличение количества оксидных включений, и степень этого увеличения

изменяется симбатно [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.

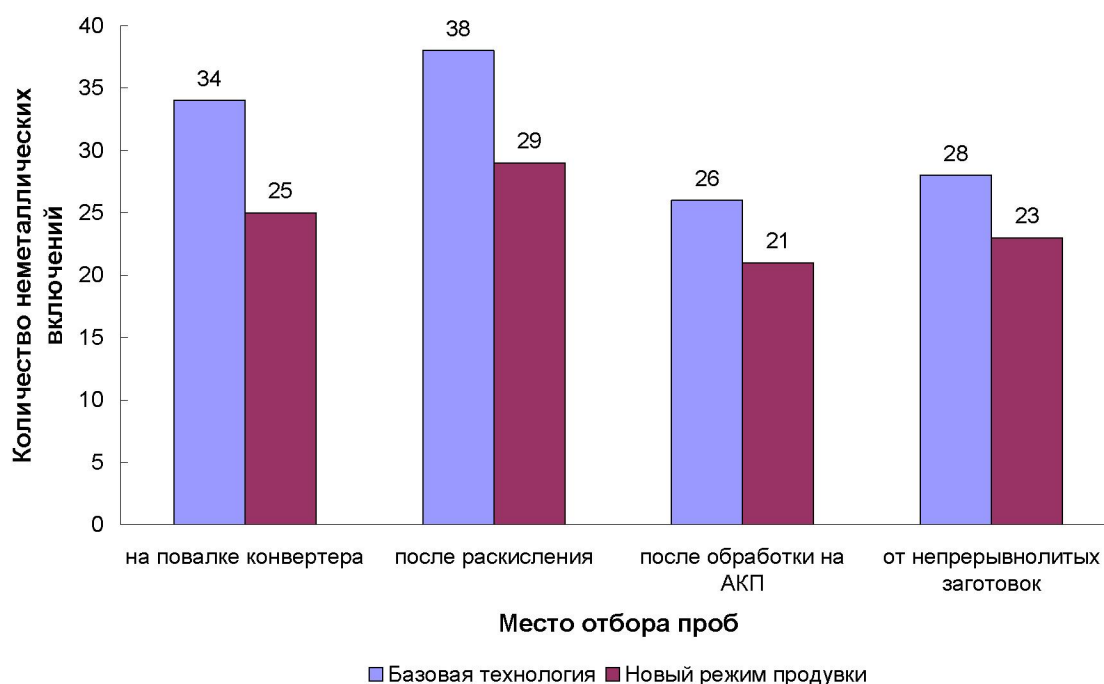


Рисунок 4. Сравнительный анализ загрязненности неметаллическими включениями стали при использовании различных режимов продувки

Проведенный полуколичественный анализ показал уменьшение загрязненности оксидными и силикатными включениями в готовом прокате на плавках, произведенных с использованием усовершенствованной технологии продувки стали (таблица 1).

Таблица 1 – Количественный анализ неметаллических включений в непрерывнолитых заготовках стали 09Г2С

Анализируемая выборка	Оксиды точечные, балл		Силикаты, балл	
	max	min	max	min
Плавки, произведенные с использованием усовершенствованной технологии продувки	3б	1а	3а	1а

Плавки, произведенные с использованием стандартной технологии продувки	5 б	2а	5б	2б
--	-----	----	----	----

На заготовках от плавов, произведенных по стандартной технологии, зафиксирован максимальный балл точечных оксидов 5б (рисунок 5), силикатов недеформирующихся – 5б (рисунок 6); силикатов пластичных – 5а (рисунок 7).

При этом на заготовках от плавов, произведенных с использованием усовершенствованной технологии продувки балл точечных оксидов не превысил 3а, силикатов недеформирующихся и силикатов хрупких – 3б (рисунок 8).

Проведенным анализом установлено, что неметаллические включения представлены в основном шпинелями типа $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ (рисунок 9а) и силикатами железа $FeO \cdot SiO_2$ (фаялит) – рисунок 9б.



Рисунок 5. Оксиды точечные на заготовках от плавов стали 09Г2С, произведенных по стандартной технологии

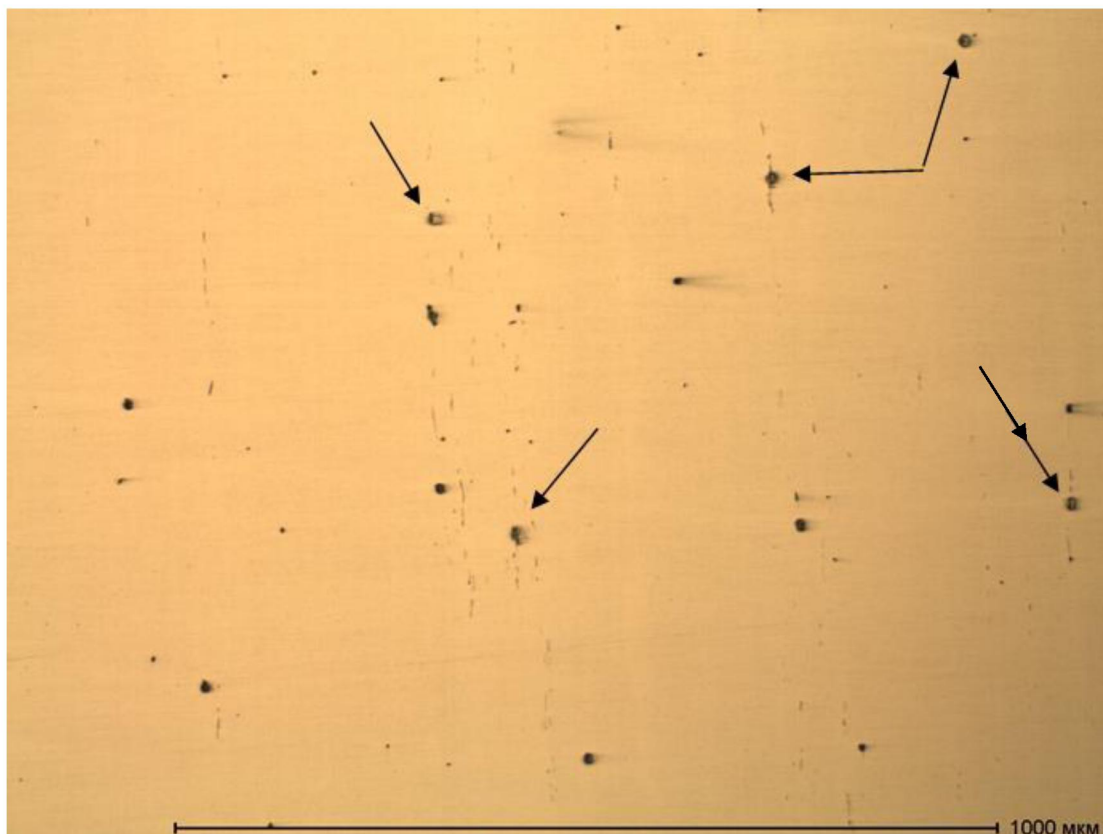


Рисунок 6. Силикаты недеформирующиеся на заготовках от плавков стали 09Г2С, произведенных по стандартной технологии

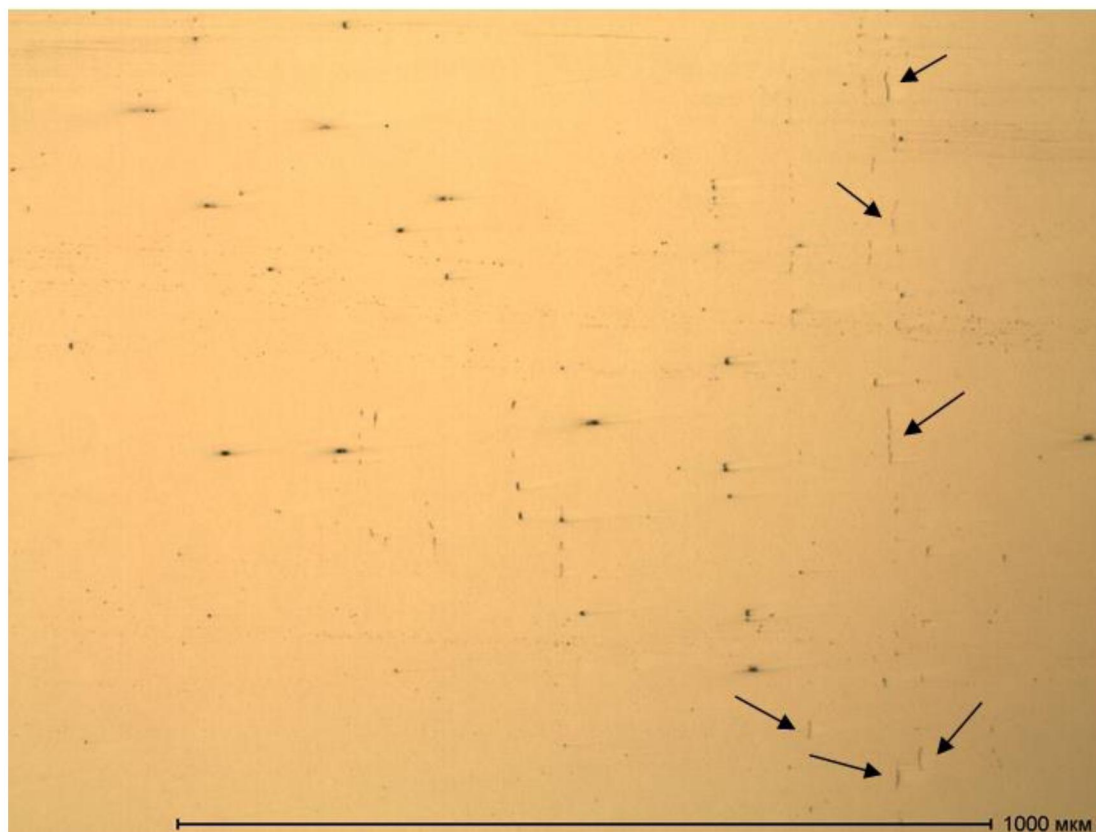


Рисунок 7. Силикаты пластичные на заготовках от плавков стали 09Г2С, произведенных по стандартной технологии

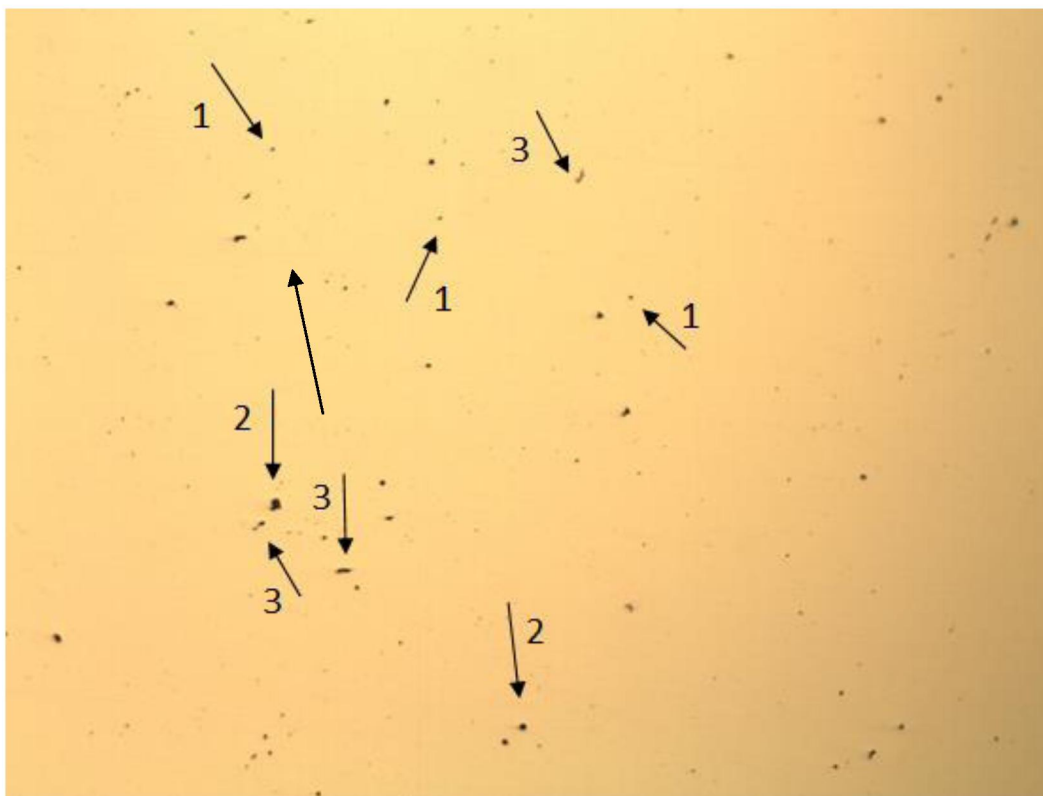
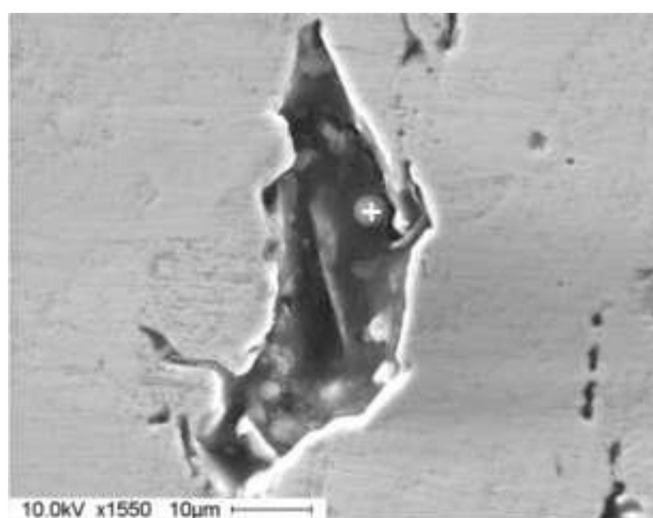


Рисунок 8. Неметаллические включения на заготовках от плавов стали 09Г2С, произведенных с использованием новой технологии продувки



а



б

Рисунок 9. Характерные неметаллические включения в заготовках стали 09Г2С:
а – $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$; б – $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$

Зафиксированное снижение количества неметаллических включений при изменении режима продувки конвертерной ванны связано со снижением окисленности стали. По данным многочисленных работ [3 – 5] окисленность конвертерной стали в конце продувки является одним из факторов, оказывающих наиболее значимое влияние на загрязненность неметаллическими включениями. Известно, что содержание и активность кислорода в

конвертерной стали в конце продувки в наибольшей степени определяется содержанием в ней углерода, однако при низком содержании углерода (менее 0,08-0,10 %) процесс кипения замедляется и углерод перестает оказывать решающее влияние на окисленность стали. В этом случае на первый план выступают такие параметры, как активность оксидов железа в шлаке, интенсивность продувки. При отсутствии кипения конвертерной ванны в конце продувки наблюдается высокое содержание FeO в шлаке, поскольку в этом случае имеет место соотношение: $\text{FeO} / a[\text{O}] = \text{const}$. Возникающая переокисленность стали приводит к снижению выхода годного.

Избыток кислорода в стали в конечный период продувки связан с торможением процесса его диффузии к реакционной поверхности, поэтому повышение интенсивности продувки приводит к снижению окисленности и переокисленности стали за счет улучшения условий массопереноса. Также имеются данные [4, 5], что использование додувок приводит к резкому увеличению окисленности стали с низким содержанием углерода.

Выводы

По результатам проведенных экспериментальных исследований установлено, что применение новой усовершенствованной технологии продувки позволяет повысить качество микроструктуры стали 09Г2С на всех этапах ее производства и обработки за счет снижения загрязненности неметаллическими включениями. В частности, зафиксировано снижение количества неметаллических включений: на 26 % – после окончания продувки стали; на 24 % – после раскисления стали; на 19 % – после обработки стали на АКП и на 18 % – в непрерывнолитых заготовках. Проведенный полуколичественный анализ также показал уменьшение загрязненности оксидными и силикатными включениями в готовом прокате на плавках, произведенных с использованием усовершенствованной технологии продувки стали. Повышение качества микроструктуры обусловлено снижением окисленности стали в конце продувки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солоненко В.В. Повышение эффективности плавки на основе использования составных сопел в кислородных фурмах большегрузных конвертеров / В.В. Солоненко, Е.В. Протопопов, С.В. Фейлер, М.В. Темлянцев // В сборнике: Металлургия, технологии, инновации, качество труда XX Международной научно-практической конференции: в 2 частях. 2017. С. 4 – 8.
2. Фейлер С.В. Использование составных сопел в кислородных фурмах для продувки металлического расплава в большегрузных конвертерах / С.В. Фейлер, Е.В. Протопопов, Д.Т. Неунывахина // Вестник Российской академии естественных наук. Западно-Сибирское отделение. – 2016. – №18. С. 111 – 117.
3. Казачков Е.А. Окисленность конвертерной ванны в конце плавки низкоуглеродистой стали / Е.А. Казачков, В.В. Климанчук // Вестник Приазовского государственного технического университета. – 2008. – Вып.18. – С. 41 – 43.
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. Гальперин Г.С. Исследование окисленности стали в 350-т конвертерах / Г.С. Гальперин, А.К. Бученков, А.И. Александров, В.В. Болотников // Сталь. – 1996. – №1. – С. 28, 29.

Научное издание

ВЕСТНИК
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК
ЗАПАДНО–СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Выпуск 22, 2019 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 11.09.2019 г. Формат бумаги 60×84 1/8. Бумага писчая.
Печать офсетная. Усл. печ.л. 12,12. Уч. – изд.л. 13,49. Тираж 300 экз. Заказ № 209

Отпечатано в
Издательском центре
Сибирского государственного индустриального университета