

**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

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. Горохов. // 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: Ғылым, 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 разлива стали 3пс в изложницы на качество слитков и получаемых из них заготовок.

Ключевые слова: выплавка стали, кислородный конвертер, разлива 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

совокупным воздействием значительного числа технологических параметров, зачастую имеющих тесную взаимосвязь. Поэтому определение оптимального интервала изменения конкретных технологических параметров, обеспечивающих снижение уровня отбраковки стальной металлопродукции, является сложной задачей. На практике для обоснованного выбора направлений по оптимизации технологии производства стали с целью повышения ее качества необходимо использовать современные методы статистической обработки данных.

В представленной работе с использованием метода множественного регрессионного анализа проведены исследования влияния технологических параметров выплавки, внепечной обработки и разливки стали в изложницы в условиях кислородно-конвертерных цехов АО «ЕВРАЗ ЗСМК». В качестве объекта исследований использовали случайную выборку из 200 плавов стали марки Зпс, произведенных в кислородно-конвертерных цехах №1 и №2 (ККЦ-1 и ККЦ-2). Выбор указанной марки стали обусловлен ее наибольшей долей в общем производстве слитков, разлитых в изложницы. В качестве параметров оптимизации выбрали: отбраковку заготовок, прокатанных из слитков, по рванинам и дополнительную обрезь слитков из-за наличия внутренних дефектов (расслой, жидкий шлак, рыхлость).

Для анализа выбраны следующие технологические параметры производства стали:

- доля чугуна и оборотного лома в металлозавалке;
- температура выпуска стали из конвертера;
- расход шлакообразующих материалов при выплавке стали (известь, флюсы);
- расход кислорода на продувку;
- расход шлакообразующих при выпуске стали в ковш;
- показатели качества извести (потери при прокаливании (ППП), содержание Сао и серы);
- химический состав стали на выпуске и готовой стали;
- длительность продувки аргоном (азотом) и расход газа на продувку;
- температура разливки стали;
- продолжительность разливки стали и выдержки в ковше;
- продолжительность выдержки составов;
- продолжительность «искрения» металла при разливке слитков;
- продолжительность разливки стали с пониженной скоростью («подушка»).

По полученным данным повышение доли оборотного лома в металлозавалке и увеличение отношения Mn/S в стали снижает отбраковку заготовок по рванинам, а повышение показателя PPP извести увеличивает брак по данному виду поверхностных дефектов.

Уравнение регрессии для плавов ККЦ-1:

$$B_{PB} = -1,147 - 0,019 \cdot (D_{OL}) + 0,231 \cdot (ППП_{ИЗВ}) - 0,063 \cdot (Mn/S),$$

где B_{PB} – отбраковка заготовок по рванинам, т/плавка;

D_{OL} – доля оборотного лома в металлозавалке, %;

$ППП_{ИЗВ}$ – потери при прокаливаемости извести, %;

Mn/S – отношение марганца к сере в готовой стали.

Аналогичное уравнение для плавок ККЦ-2:

$$B_{PB} = -1,492 - 0,017 \cdot (D_{OL}) + 0,244 \cdot (ППП_{ИЗВ}) - 0,048 \cdot (Mn/S).$$

Влияние доли оборотного лома в металлозавалке на образование поверхностных дефектов заготовок связано с тем фактом, что указанный лом содержит меньшее количество вредных примесей по сравнению с амортизационным (копровым) ломом. К указанным вредным примесям относятся примеси цветных металлов, сера, фосфор, водород. Проведенным анализом показано, что содержание примесей цветных металлов в стали не оказывает значимого влияния на отбраковку заготовок, что связано с их низким абсолютным содержанием. Также по результатам проведенного анализа не выявлено значимого влияния на отбраковку заготовок концентраций фосфора и серы в готовой стали (опосредованное влияние концентрации серы на качество поверхности заготовок проявляется в установленном значимом влиянии показателя Mn/S). Таким образом, влияние доли оборотного лома в металлозавалке на качество поверхности заготовок с наибольшей вероятностью связано с высокой концентрацией водорода в амортизационном (копровом) ломе в виде ржавчины. Имеются данные, что в металлоломе, покрытом слоем ржавчины, содержание водорода может на несколько порядков превышать концентрацию водорода в чистом металлическом ломе [1].

Влияние показателя $ППП$ извести на качество поверхности заготовок также связано с содержанием водорода. Потери при прокаливаемости определяются содержанием в извести CO_2 и H_2O , при этом CO_2 , очевидно, не оказывает отрицательного воздействия на качество стали. Согласно существующей технологии выплавки стали в кислородно-конвертерных цехах АО «ЕВРАЗ ЗСМК» известь вносится не только по ходу продувки, но и дополнительно в сталеразливочный ковш при выпуске. При этом если водород, внесенный известью во время продувки, хорошо удаляется за счет кипения ванны металла, то водород, внесенный известью во время выпуска стали, практически не удаляется в газовую фазу, в результате чего концентрация водорода в расплаве значительно увеличивается.

Механизм влияния отношения Mn/S в стали на качество поверхности заготовок объясняется нейтрализующим действием марганца на серу [2]. Марганец обладает большим химическим сродством к сере по сравнению с железом, в результате чего происходит разрушение легкоплавких эвтектик FeS , температура плавления которых ниже температуры горячей прокатки, и образование тугоплавкого сульфида марганца MnS [3-4]. Указанная химиче-

ская реакция приводит к устранению хрупкости стали (красноломкости) при прокатке слитков и обуславливает снижение количества рванин на поверхности слитков и заготовок.

Совокупный коэффициент детерминации составили: $k_{\text{сов}} = 0,305$ для плавов ККЦ-1 и $k_{\text{сов}} = 0,279$ для плавов ККЦ-2. То есть суммарная относительная степень влияния рассматриваемых технологических параметров выплавки стали на отбраковку заготовок по рванинам составила 30,5 % и 27,9 % для плавов ККЦ-1 и ККЦ-2 соответственно.

Установлено, что повышение температуры разливки слитков и продолжительности «искрения» слитков в рассматриваемых интервалах изменения данных параметров снижают дополнительную обрезь слитков по внутренним дефектам, а увеличение продолжительности разливки плавки способствуют увеличению дополнительной обрезки со слитков.

Уравнение регрессии для плавов ККЦ-1:

$$D_B = 73,425 - 0,047 \cdot (t_{\text{РАЗЛ}}) + 0,037 \cdot (T_{\text{РАЗЛ}}) - 0,021 \cdot (T_{\text{ИСКР}}),$$

где D_B – дополнительная обрезь слитков по внутренним дефектам, т/плавка;

$t_{\text{РАЗЛ}}$ – температура разливки стали, °C;

$T_{\text{РАЗЛ}}$ – продолжительность разливки плавки, мин.;

$T_{\text{ИСКР}}$ – длительность «искрения» слитков при разливке, сек.

Уравнение регрессии для плавов ККЦ-2:

$$D_B = 54,232 - 0,035 \cdot (t_{\text{РАЗЛ}}) + 0,043 \cdot (T_{\text{РАЗЛ}}) - 0,019 \cdot (T_{\text{ИСКР}}).$$

Механизм влияния температуры разливки на дополнительную обрезь слитков заключается в следующем. При пониженной температуре разливки повышается вязкость стали, в результате чего затрудняется процесс всплытия неметаллических включений с последующим их удалением при технологической обрезки головной части слитка. В соответствии с известными закономерностями затвердевания стали [5] неметаллические включения имеют свойство концентрироваться в образующихся внутренних несплошностях слитка, которые в слитках полуспокойной стали расположены до уровня 35-45 % высоты слитка. Неметаллические включения, представляющие собой, как правило, сложные оксиды имеют низкую температуру плавления и при температурах прокатки слитков находятся в жидкой фазе [6]. В результате при технологической обрезки слитков после прокатки на блюминге обнаруживается, так называемый «жидкий шлак», представляющий собой скопление неметаллических включений в расплавленном состоянии. Выход на поверхность торца раската «жидкого шлака» обуславливает необходимость дополнительной обрезки вплоть до полного удаления дефектного участка. В ряде случаев неметаллические включения находятся в твердой фазе и тогда причина дополнительной обрезки фиксируется, как расслой или рыхлость. При отсутствии значительных скоплений неметаллических включений рас-

слой и рыхлость в процессе прокатки на блюминге полностью завариваются и необходимость дополнительной обрезки не возникает.

Механизм влияния продолжительности разливки на дополнительную обрезку аналогичен влиянию выше рассмотренного параметра с той разницей, что длительность разливки определяет не начальную, а конечную температуру разливки стали, то есть температуру разливки последних слитков.

Влияние длительности «искрения» (газовыделения) при разливке слитков полуспокойной стали на дополнительную обрезку объясняется тем фактом, что данный параметр служит показателем оптимальной степени раскисленности стали [7, 8]. В свою очередь от степени раскисленности полуспокойной стали напрямую зависит расположение усадочных пустот в слитке. При нормальной раскисленности, когда интенсивность газовыделения достаточна, над усадочной раковиной формируется «мост» пузыристого металла толщиной, достаточной для надежной изоляции раковины от атмосферы, благодаря чему последняя заваривается при прокатке. В случае перераскисления, показателем чего служит незначительная длительность «искрения» металла в изложнице, слитки получают с незначительной толщиной «моста» и недостаточно изолированной усадочной раковиной, что ведет к появлению дополнительной обрезки.

Совокупный коэффициент детерминации составил: для плавов ККЦ-1 $-k_{\text{сов}} = 0,145$; для плавов ККЦ-2 $-k_{\text{сов}} = 0,132$. То есть суммарная относительная степень влияния вышеуказанных технологических параметров разливки стали на дополнительную обрезку по внутренним дефектам слитков составила 14,5 % и 13,2 % для плавов ККЦ-1 и ККЦ-2 соответственно.

Таким образом, на основании комплексных статистических исследований установлены закономерности влияния параметров производства стали 3пс на качество слитков и получаемых из них заготовок стали. Полученные уравнения регрессии позволяют выбрать направление по оптимизации технологии выплавки и разливки стали и прогнозировать изменение величины отбраковки заготовок, прокатанных из слитков, по рванинам и величины дополнительной обрезки слитков из-за наличия внутренних дефектов при варьировании технологических параметров производства стали.

Библиографический список

1. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали / В.А. Кудрин. – М.: «Мир», ООО «Издательство АСТ», 2003. – 528 с.
2. Кекух А.В. Энерго- и металлосберегающие технологии при подготовке заготовок для переката на сортовых станах комбината «Криворожсталь» / А.В. Кекух [и др.] // Производство проката. – 2003. – №12. – С. 36-39.
3. Губенко С.И. Трансформация неметаллических включений / С.И. Губенко. – М.: Металлургия, 1991. – 224 с.
4. Еланский Г.Н. Строение и свойства металлических расплавов

[Текст] / Г. Н. Еланский, Д. Г. Еланский. – М.: МГВМИ, 2006. – 228 с.

5. Власов Н.Н. Разливка черных металлов / Н.Н. Власов, В.В. Король, В.С. Радя. – М.: Металлургия, 1987. – 272 с.

6. Явойский В.И. Генезис формирования неметаллических включений при кристаллизации / В.И. Явойский, С.А. Близнюков, Л.С. Горохов // Исследование и пути совершенствования процессов производства стали – М.: Металлургия, 1970. – С. 4-17.

7. Ефимов В.А. Разливка и кристаллизация стали / В.А. Ефимов – М.: Металлургия, 1976. – 552 с.

8. Китаев Е.М. Затвердевание стальных слитков / Е.М. Китаев – М.: Металлургия, 1982. – 168 с.

УДК 669.184

ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ СЛИТКОВ КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ

Есмакова А.С.

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

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

Проведенными в условиях АО «ЕВРАЗ ЗСМК» исследованиями установлены закономерности развития физической и химической неоднородности по высоте крупнотоннажных слитков конвертерной стали марки 20кп.

Ключевые слова: ликвация, микроструктура, конвертерная сталь, нагрева слитков, разливка стали

На нынешнем этапе развития черной металлургии технология разлива стали в изложницы однозначно считается устаревшей, поскольку обладает рядом существенных недостатков по сравнению с непрерывной разливкой стали. К указанным недостаткам, прежде всего, следует отнести повышенную величину отходов на переделе сталь-прокат, низкое качество поверхности и внутренней структуры получаемых слитков, неоднородность механических свойств металла по высоте слитков вследствие значительного развития физической и химической неоднородности [1, 2]. По этой причине в развитых странах доля стали, разливаемой непрерывным способом, приближается к 100%. В России тенденция к переводу металлургических заводов на непрерывную разливку также имеет место, но в силу объективных экономических причин происходит значительно медленнее.

К текущему моменту в отечественной металлургии доля стали, разлитой на МНЛЗ, составляет порядка 80%, то есть значительное количество ста-

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ SLAM В УСЛОВИЯХ БЕЗЛЮДНОЙ ВЫЕМКИ УГЛЯ	
<i>Мананников 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., Мананников 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
IV МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ	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>Гашишкова 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