



УДК 669

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА РЕЛЬСОВОЙ ЗАГОТОВКИ

И. О. ПИСАРЕНКО, О. П. КРАСЮК, В. С. ПУТЕЕВ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: par.espc@bmz.gomel.by.

Проведена работа по совершенствованию технологии производства непрерывнолитой заготовки сечением 250×300 и 300×400 мм, выплавляемой в электропечах для производства дифференцированно-термоупрочненных рельсов скоростного и высокоскоростного пассажирского движения. Разработан и реализован комплекс мероприятий по снижению числа внутренних дефектов рельс.

Ключевые слова. Непрерывнолитая заготовка; электромагнитное перемешивание; макроструктура; неметаллические включения; шлакообразующая смесь; металлопроводка.

IMPROVEMENT OF RAIL BILLET PRODUCTION TECHNOLOGY

I. O. PISARENKO, O. P. KRASYUK, V. S. PUTEEV, OJSC “BSW – Management Company of Holding “BMC”, Zhlobin, Gomel Region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: par.espc@bmz.gomel.by.

Work has been carried out to improve the production technology of continuously cast billets with cross-sections of 250×300 mm and 300×400 mm, melted in electric furnaces for the manufacture of differentially heat-strengthened rails for high-speed and ultra-high-speed passenger trains. A comprehensive set of measures was developed and implemented to reduce the number of internal defects in the rails.

Keywords. Continuously cast billet; electromagnetic stirring; macrostructure; non-metallic inclusions; slag-forming mixture; metal flow.

Исходными параметрами для разработки процесса производства непрерывнолитой заготовки для производства дифференцированно-термоупрочненных рельсов скоростного и высокоскоростного пассажирского движения, выплавляемой в электропечах, являются требования по макро- и микроструктуре, наличия неметаллических включений, а также химический состав стали, определяющий основные механические свойства.

В рамках входного контроля качества потребителем непрерывнолитых блюмов рельсовых марок сталей производятся оценка химического состава стали, механических свойств рельсов, макро- и микроструктуры, загрязненности неметаллическими включениями стали и ультразвуковой контроль (УЗК) рельсов на соответствие требованиям СТ РК 2432-2023 и DIN EN 13674-1:2017, а также анализ дефектов, выявленных при УЗК.

Загрязненность неметаллическими включениями оценивается в соответствии с СТ РК 2432-2023 и DIN EN 13674-1:2017. Результаты оценки рельс на загрязненность неметаллическими включениями приведены в табл. 1, 2.

Общая загрязненность стали неметаллическими включениями полностью соответствует требованиям СТ РК 2432-2023 и DIN EN 13674-1:2017.

Оценку качества рельсов по поверхностным и внутренним дефектам производили неразрушающим методом ультразвукового контроля. Схема расположения датчиков при ультразвуковом контроле показана на рис. 1.

По результатам переработки на ряде рельс были выявлены отклонения в виде внутренних дефектов, расположенных преимущественно в осевой зоне шейки рельсы, частично в головке. Раскатанное загрязнение наследовано от исходной непрерывнолитой заготовки, располагается в зоне, соответствующей распространению осевой химической неоднородности. Выявленные дефекты приводят к образованию несоответствующей продукции при прокатке длинномерных рельсов специального назначения (рис. 2).

Таблица 1. Результаты оценки загрязненности стали в соответствии с DIN EN 13674-1:2017

Номер пробы	Группа ED, диаметр PD, мкм	Группа EB, длина PL, мкм	Коэффициент, KaED / KaEB, мкм ² /мм ²
1	11	44	0,3/1,3
2	11	89	
3	11	178	
4	22	89	
5	22	89	
6	11	89	
7	11	89	
8	22	44	
Среднее	15,1	88,9	
Требования СТ РК 2432–2013, не более	44/22	710/500	30 / 30

Таблица 2. Результаты оценки загрязненности стали в соответствии с СТ РК 2432-2023

Индекс степени чистоты по оксидам КЗ	
Номер плавки	313 914
1-й ручей	0
2-й ручей	0
3-й ручей	0
4-й ручей	4
Требования DIN EN 13674-1:2017, не более	10

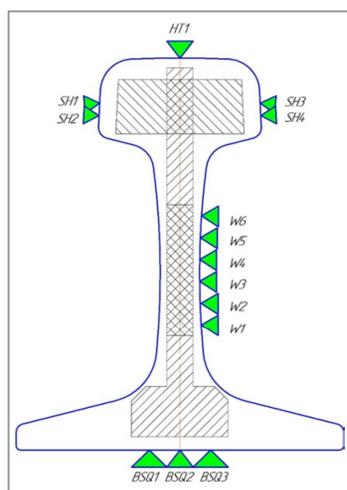


Рис. 1. Схема расположения датчиков при ультразвуковом контроле

Расшифровка наименований датчиков контроля
и их расположение по элементам рельса

SH1, SH2, SH3, SH4	Головка – с боковой грани
HT1	Головка, шейка – с поверхности катания головки
W1-W6	Шейка – с боковой поверхности
BSQ2	Подошва в проекции шейки, шейка, головка в проекции шейки – с нижней поверхности подошвы
BSQ1, BSQ3	Подошва в проекции шейки – с нижней поверхности подошвы

Внутренние дефекты рельсов, обнаруженные при УЗК в шейке и головке рельсов, представляют собой несплошности, полости которых содержат раскатанные экзогенные неметаллические включения шлаковой природы как хрупко разрушенные, так и пластично деформированные. Образование внутренних дефектов связано с периодическим загрязнением осевой зоны НЛЗ эндо- и экзогенными включениями.

Качественный и количественный анализ химического состава неметаллического включения проводили с помощью энергодисперсионного анализатора INCA Energy 350, при ускоряющем напряжении 10 кВ, время сбора спектра 25 с. Микроструктура в зоне дефекта показана на рис. 3. Химический состав включений приведен в табл. 3, 4.

Химический состав включений однозначно указывает на попадание в тело слитка частиц шлакообразующей смеси (ШОС) и тела шлакового пояса погружного стакана. Принимая во внимание состав включений, можно говорить о преждевременном износе огнеупорных изделий, учитывая наличия в составе включения циркония аналогично предыдущим плавкам, – шлакового пояса погружного стакана. Дополнительным фактором является неравномерная подача ШОС в кристаллизатор, которая приводит

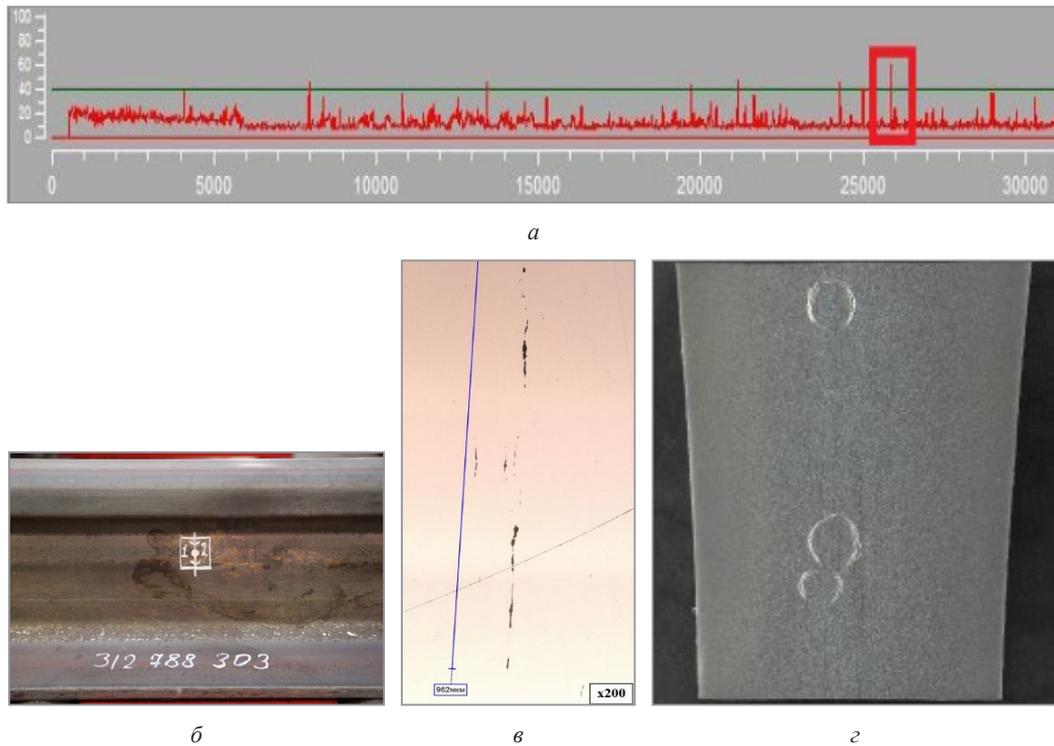


Рис. 2. Амплитуды сигналов при УЗК контроле шейки рельса (а); внешний вид пробы с внутренним дефектом и разметка для отбора образцов (б); место расположения внутреннего дефекта на шлифе (в); микроструктура в зоне дефекта (г)

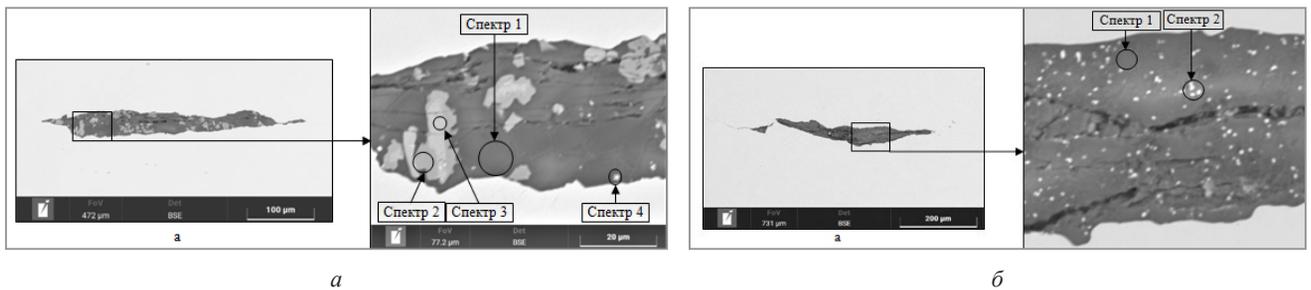


Рис. 3. Микроструктура в зоне дефекта: а – включение 1; б – включение 2

Таблица 3. Химический состав включения 1, вес. %

Метка спектра	Si	Mn	Fe	Всего				
Матрица	0,56	1,01	98,42	100				
В пересчете на оксиды, %								
Метка спектра	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO	MnO	ZrO ₂	Всего
Спектр 1	–	18,98	66,89	–	2,67	11,46	–	100
Спектр 2	–	3,39	13,09	2,33	43,44	8,94	28,81	100
Спектр 3	–	2,68	6,98	–	39,34	10,51	40,49	100
Спектр 4	2,00	4,51	18,16	19,81	6,45	7,52	41,54	100

Таблица 4. Химический состав включения 2, вес. %

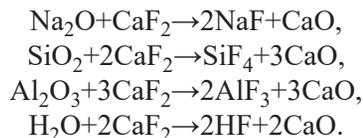
Метка спектра	Si	Mn	Fe	Всего					
Матрица	0,53	1,04	98,43	100					
В пересчете на оксиды, %									
Метка спектра	F	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MnO	ZrO ₂	Всего
Спектр 1	1,94	6,41	7,81	20,03	48,52	5,74	9,56	–	100
Спектр 2	–	2,10	2,07	6,58	13,94	1,70	3,01	70,60	100

к неустойчивому образованию шлака, его переменному составу за счет поглощения включений и неоднородного мениска, что подтверждает наличия в составе включений натрия.

Разработан комплекс мероприятий, направленный на снижение данного рода дефектов.

1. Определена шлакообразующая смесь с наименьшим содержанием фтора.

Как известно, при наличии фтористых соединений в ШОС в процессе ее нагрева и расплавления протекают реакции:



NaF образуется при температуре выше 530 °С, а SiF₄ и AlF₃ – при более высоких температурах. Каждое из выделяемых газообразных соединений фтора является сильным корродиентом по отношению к корундографитовому составу погружного стакана. В качестве альтернативы были выбраны шлакообразующие смеси системы CaO–SiO₂–TiO₂ и CaO–SiO₂–Al₂O₃ с флюсующей добавкой Na₂O [1].

2. Поддержка нерасплавленного слоя смеси во время разливки в диапазоне 25–40 мм.

Защитное шлаковое покрытие на зеркале металла в кристаллизаторе должно состоять из трех слоев: сыпучего, спеченного (размягченный переходной слой) и жидкого, что обеспечивает тепловую и газовую изоляцию поверхности металла. В районе зеркала металла по всему периметру образуется шлаковый рант. Общая высота защитного покрытия на мениске металла должна быть не менее 25 мм и иметь «темную» поверхность. Особое значение имеет толщина слоя жидкого шлака. Стабильные условия разливки, равнотолщинный гарнисаж по периметру кристаллизатора обеспечиваются, если толщина жидкого шлака находится в пределах 25–40 мм [2]. Недостаточная толщина жидкого слоя допускает возможность окисления и науглероживания металла. В этом случае ухудшаются служебные характеристики защитного покрытия в результате ассимиляции всплывающих неметаллических включений и нарушается согласованность процессов скорости плавления ШОС и инфильтрации шлака в зазор между оболочкой слитка и кристаллизатором.

3. Подобран режим работы катушек электромагнитного перемешивания со сниженными значениями интенсивности вращения.

Задачей осевого перемешивания металла в кристаллизаторе является подавление высокоскоростных потоков жидкости, подаваемой из промежуточного ковша. Высокая интенсивность перемешивания, а также неправильная центровка оси струи относительно стенок кристаллизатора могут приводить к неравномерной толщине и даже размыву корочки заготовки [3]. Для последующего производства рельсовых марок устанавливали силу тока, равной 450 А и частоту 1,5 Гц.

После проведения разливки серии плавов рельсовых марок сталей с внедрением разработанных мероприятий была произведена оценка состояния погружных стаканов, в частности, состояние шлакового пояса. Состояние выработки шлакового пояса представлено на рис. 4.



Рис. 4. Корундографитовые погружные стаканы после разливки серии из шести плавов рельсовых марок сталей

Степень износа корундографитовых погружных стаканов после шести плавов составила до 2 мм в районе шлакового пояса, до внедрения комплекса мероприятий эрозия достигала 4 мм и выше.

После переработки данных плавов в рельс была произведена оценка эффективности разработанных мероприятий. Количество годных рельсов на серии плавов составило 97,6% и показало наилучший результат из шести оцениваемых серий плавов (рис. 5).



Рис. 5. Результаты переработки рельсовой заготовки шести серий плавков

Выводы

Внедренные технологические решения позволили снизить количество внутренних дефектов при переработке рельсов. Результаты переработки блюмов у потребителя показали наибольший процент выхода годных рельсов по сравнению с плавками до разработанного комплекса мероприятий.

Работа по совершенствованию технологии выплавки, обработки и разливке рельсовых марок сталей для производства конкурентоспособной продукции, востребованной потребителями на внешних и внутренних рынках металлопродукции, продолжается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Непрерывная разливка стали: учеб. пособ. / А. П. Огурцов [и др.]. – Днепродзержинск: ДГТУ, 1999. – 127 с.
2. Явойский, В. И. Включения и газы / В. И. Явойский, С. А. Ближнюков, А. Ф. Вишкарев. – М.: Metallurgija, 1979. – 250 с.
3. Григорович, К. В. Исследование структуры и металлургического качества рельсовых сталей различных производителей / К. В. Григорович // Металлы. – 2006. – № 5. – С. 1–30.

REFERENCES

1. Ogurcov A. P., Velichko A. G., Isaev E. I., Gress A. V. *Nepreryvnaja razlivka stali* [Continuous casting of steel]. Dneprodzerzhinsk, DGTU Publ., 1999, 127 p.
2. Javojskij V. I., Bliznjukov S. A., Vishkarev A. F. *Vkljuchenija i gazy* [Inclusions and gases]. Moscow, Metallurgija Publ., 1979, 250 p.
3. Grigorovich K. V. *Issledovanie struktury i metallurgicheskogo kachestva rel'sovyh stalej razlichnyh proizvoditelej* [Study of the structure and metallurgical quality of rail steels from various manufacturers]. *Metally = Metals*, 2006, no. 5, pp. 1–30.