https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-4-47-51
УДК 669

Поступила 14.11.2024
Received 14.11.2024

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ОСЕВЫХ МАРОК СТАЛИ

О. П. КРАСЮК, И. О. ПИСАРЕНКО, В. С. ПУТЕЕВ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: zamm.otk@bmz.gomel.by. Тел.: +375 2334 55959

Представлены результаты работы по совершенствованию технологии производства непрерывнолитых заготовок 300×400 мм, предназначенных для изготовления осей железнодорожного транспорта. Определены необходимые технологические операции, режимы и условия для получения заданных требований по качеству макро- и микроструктуры непрерывнолитой заготовки. В процессе выполнения работы использовался широкий спектр современных методов исследований, включая различные методики оценки макроструктуры непрерывнолитых заготовок, металлографические анализы с использованием оптического и электронного микроскопа.

Ключевые слова. *Непрерывнолитая заготовка, внепечная обработка, неметаллические включения, вторичное окисление, макроструктура, микроструктура.*

Для цитирования. *Красюк, О. П. Пути совершенствования технологии производства осевых марок стали / О. П. Красюк, И. О. Писаренко, В. С. Путеев // Литье и металлургия. 2024. № 4. С. 47–51. https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-4-47-51.*

WAYS TO IMPROVE THE TECHNOLOGY FOR PRODUCING AXLE STEEL GRADES

O. P. KRASYUK, I. O. PISARENKO, V. S. PUTEEV, OJSC "BSW – Management Company of Holding "BMC", Zhlobin, Gomel Region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: zamm.otk@bmz.gomel.by. Tel.: +375 2334 55959

This article presents the results of efforts to improve the technology for producing continuously cast billets measuring 300×400 mm, intended for manufacturing railway axles. The necessary technological operations, modes, and conditions required to meet the specified quality requirements for the macro- and microstructure of continuously cast billets have been identified. A wide range of modern research methods was employed during the study, including various techniques for assessing the macrostructure of continuously cast billets, metallographic analyses using optical and electron microscopy.

Keywords. *Continuously cast billet, secondary metallurgy, non-metallic inclusions, secondary oxidation, macrostructure, microstructure.*

For citation. *Krasyuk O. P., Pisarenko I. O., Puteev V. S. Ways to improve the technology for producing axle steel grades. Foundry production and metallurgy, 2024, no. 4, pp. 47–51. https://doi.org/10.21122/ 1683-6065-2024-4-47-51.*

В настоящее время возрастает грузо- и пассажирооборот железнодорожного транспорта, повышаются скорости движения поездов, увеличивается грузоподъемность вагонов, ужесточаются требования к безопасности движения. В связи с этим растут требования к осям грузовых железнодорожных вагонов, которые должны выдерживать циклические нагрузки в различных условиях окружающей среды. Качество железнодорожных осей напрямую зависит от качества исходной непрерывнолитой заготовки (НЛЗ), в частности, ее микро- и макроструктуры.

Схема производства непрерывнолитой заготовки стали марки ОС по ГОСТ 4728 показана на рис. 1: отделение подготовки металлолома – выплавка стали в дуговой сталеплавильной печи – обработка металла на установке печь-ковш – дегазация стали на вакууматоре RH – разливка на машине непрерывного литья заготовок.

При решении основной задачи по обеспечению качественных характеристик по макро- и микроструктуре осевых марок стали выбраны основные пути совершенствования технологии:

1. Улучшение макроструктуры слитка за счет разработки оптимального режима вторичного охлаждения при заданной скорости и температуре стали.

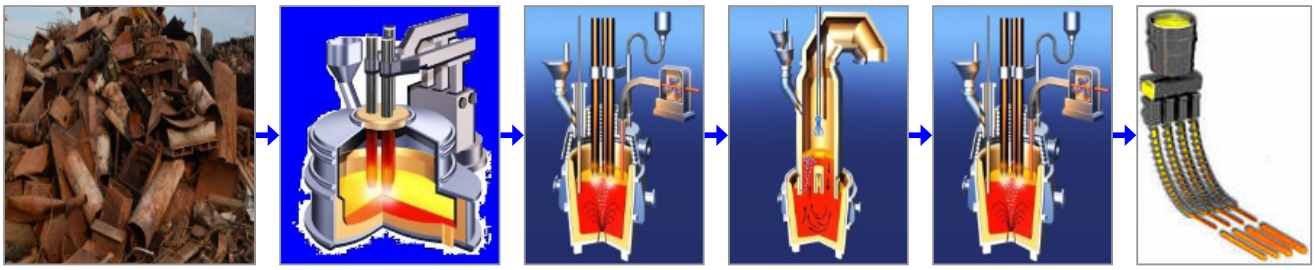


Рис. 1. Схема производства непрерывнолитой заготовки

2. Снижение содержания неметаллических включений в стали путем повышения эффективности проведения операций модифицирования стали в сталеразливочном ковше на участке внепечной обработки.

Первая опытная серия из семи плавок выплавлена и разлита в 2017 г. Разработку технологических параметров разливки стали марки ОС осуществляли на базе уже разработанной технологии производства стали марки 45. Результаты оценки макроструктуры данной серии плавок приведены в табл. 1.

Таблица 1. **Результаты оценки качества макроструктуры осевых заготовок**

Номер плавки	Центральная пористость	Осевая ликвация	Ликвационные полоски и трещины	Светлая полоса (контур)	Краевые точечные загрязнения
1	3,0	3,0	0,5	0	1,0
2	3,0	3,0	0	0	0,5
3	3,0	3,0	0	0	0,5
4	3,0	3,0	0	0	0,5
5	1,5	2,0	0	0	0,5
6	4,0	3,0	0	0	0,5
7	2,0	3,0	0	0	0,5
Требования ГОСТ 4728 не более, балл	2	2	2	2	2

По результатам первичных испытаний макроструктуры непрерывнолитой заготовки обнаружены отклонения по наличию осевой ликвации и центральной пористости.

Основной причиной выявленных дефектов является слаборазвитая равноосная зона слитка, при которой отсутствует подпитка затвердевшей зоны жидкой фазой. На протяженность той или иной зоны влияет целый ряд факторов, к которым можно отнести химический состав кристаллизующегося металла, его газонасыщенность, температуру и скорость разливки металла, протяженность зоны двухфазного состояния, продолжительность затвердевания и другие факторы. С целью получения НЛЗ с ограниченной зоной столбчатых дендритов, развитой зоной равноосных кристаллов с рассредоточенной центральной пористостью и осевой ликвацией целесообразно увеличивать протяженность зоны двухфазного состояния путем снижения интенсивности охлаждения, минимизации температурных градиентов между контурами охлаждения НЛЗ. Для этого при расчете удельных расходов вторичного охлаждения предложено снизить интенсивность охлаждения в зоне подбоя с целью уменьшения разности температур на выходе из кристаллизатора и обеспечить плавное снижение температуры поверхности слитка. Технологические параметры вторичного охлаждения по расходу воды на каждый контур охлаждения в зависимости от скорости разливки для сталей марки ОС приведены в табл. 2.

Таблица 2. **Расходы воды зоны вторичного охлаждения при разливке стали марки ОС**

Расход воды, л/мин	Скорость, м/мин								
	0,00	0,10	0,20	0,35	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
Контур 1	5	5	5	9	11	14	17	20	24
Контур 2	5	5	5	6	9	11	13	15	17
Контур 3	5	5	5	14	16	19	22	24	40
Контур 4	5	5	5	11	13	15	17	19	28
Контур 5	7	7	7	6	9	10	12	13	15
Контур 6	5	5	5	5	6	7	9	10	12

Разработка оптимальных режимов вторичного охлаждения привела к улучшению показателей качества по макроструктуре НЛЗ, стабильному снижению образования недопустимых структур по сечению осевых заготовок. Макроструктура НЛЗ до и после разработанных мероприятий вторичного охлаждения показана на рис. 2.

а *б* *в* *г*

Рис. 2. Макроструктура осевых заготовок до *(а, б)* и после *(в, г)* разработанных режимов

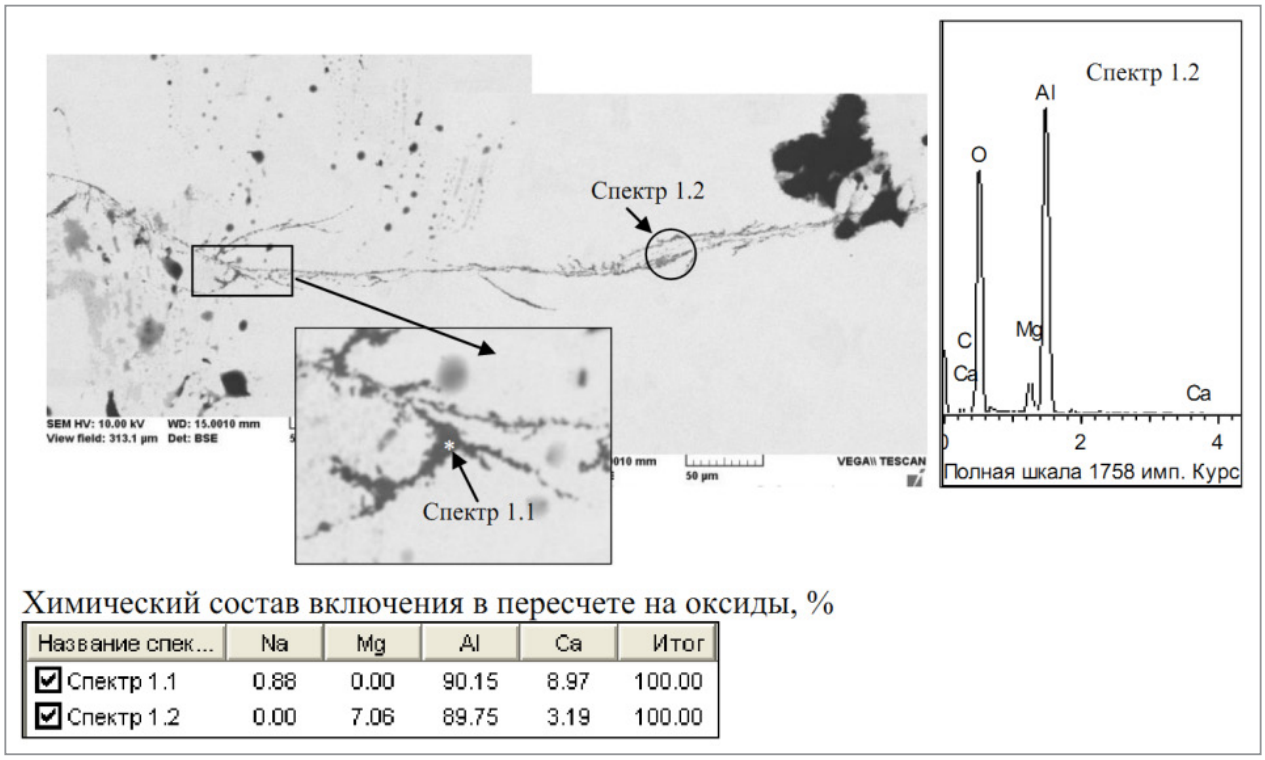
Из осевой заготовки изготавливаются черновые железнодорожные оси способом горячей деформации (ковка) с последующей термической обработкой, которые в дальнейшем подвергаются контролю качества поверхности, макроструктуры и загрязненности неметаллическими включениями в соответствии с ГОСТ 33200.

Снижение содержания неметаллических включений в стали

В дальнейшем из черновой оси получают чистовую ось, способную выдерживать циклические нагрузки при воздействии факторов окружающей среды.

Качество стали зависит не только от количества включений, но и от их распределения, поведения при кристаллизации, термической обработке и деформации, поэтому необходимо получить в стали включения с оптимальными параметрами, для определения которых необходимы специальные исследования [1].

От изготовителей чистовых осей переданы производителю пробы осей с внутренними дефектами, выявленными при помощи ультразвукового контроля. Исследование внутренних дефектов на образцах чистовых осей проводили металлографическим методом, путем последовательного снятия слоя металла шлифовкой с последующей полировкой. На подготовленных микрошлифах в месте расположения отмеченных дефектов обнаружены неметаллические включения длиной от 0,5 до 2,6 мм. Для определения состава включений образцы исследованы с помощью растрового электронного микроскопа. На рис. 3 представлен вид и состав неметаллических включений.



Химический состав включения в пересчете на оксиды, %

Название спек...	Na	Mg	Al	Ca	Итог
☑ Спектр 1.1	0.88	0.00	90.15	8.97	100.00
☑ Спектр 1.2	0.00	7.06	89.75	3.19	100.00

Рис. 3. Вид и состав неметаллических включений в оси

На образцах, вырезанных из фрагментов чистовых осей в месте расположения внутренних дефектов, выявлены включения сложного состава, в основном состоящие из Al_2O_3 эндогенного происхождения (пленочного типа).

В соответствии с действующей технологией производства стали марки ОС рафинирование и модифицирование металла в ковше производили кальцийсодержащими порошковыми проволоками. Этому способствует высокое химическое сродство кальция к кислороду, сере, что обеспечивает высокую степень раскисления расплава, десульфурацию.

Твердые (при температурах разливки) включения на основе алюмината кальция являются продуктами модифицирования стали кальцием, обогащенными оксидами (MgO, Al_2O_3) – продуктами вторичного окисления, либо материалом огнеупоров, и не удаленные в ходе финишной продувки. Вероятная причина их образования – сильное вторичное окисление или недостаточная масса присадки кальция.

Раскисление стали алюминием обеспечивает требуемую низкую концентрацию кислорода, но образующиеся при этом остроугольные продукты, такие, как корунд и шпинели, служат концентраторами напряжений и способствуют образованию микротрещин, охрупчивающих металлическую матрицу [2]. Корундовые включения размером более 10 мкм – продукты раскисления стали алюминием, которые достаточно быстро всплывают и удаляются в шлак. Для удаления мелких корундовых включений производится модифицирование стали кальцием. Кальций, являясь энергичным раскислителем, образует с глиноземом алюминаты, которые при массовой доле кальция от 40 до 60 % и температуре разливки стали находятся в жидком виде. В процессе всплытия такие включения укрупняются (сливаются), а также при наличии вторичного окисления насыщаются глиноземом вследствие коагуляции корундовых включений.

Основными условиями для обеспечения наиболее полной модификации твердых включений глинозема в стали, обработанной кальцием и раскисленной алюминием, являются:

1. Снижение вторичного окисления путем оптимизации режимов продувки металла аргоном. Основным принципом нового режима продувки является исключение оголения зеркала металла при «мягкой» продувке. Установленный режим умеренной продувки предполагает расход аргона не более 40 л/мин длительностью не менее 10 мин.
2. Добавка кальция в зависимости от содержания активного кислорода и серы в стали. При дальнейшем производстве НЛЗ установлено целевое содержание остаточного содержания Са не более 15 ppm.
3. Устранение возможности вторичного окисления при разливке металла на МНЛЗ – использование защитных трубок между стальковшом и промковшом, между промковшом и кристаллизатором.

Также исключены присадки алюминия после вакуумной обработки и последующий подогрев плавок, ограничена серийность разливки до 6 плавок с целью исключения случаев излишней эрозии шлакового пояса погружного стакана и затягивания экзогенных частиц огнеупора в кристаллизатор.

После проведения комплекса мероприятий по снижению доли НВ все пробы металлографического анализа методом Ш1 по ГОСТ 1778 соответствуют заявленным требованиям (рис. 4).

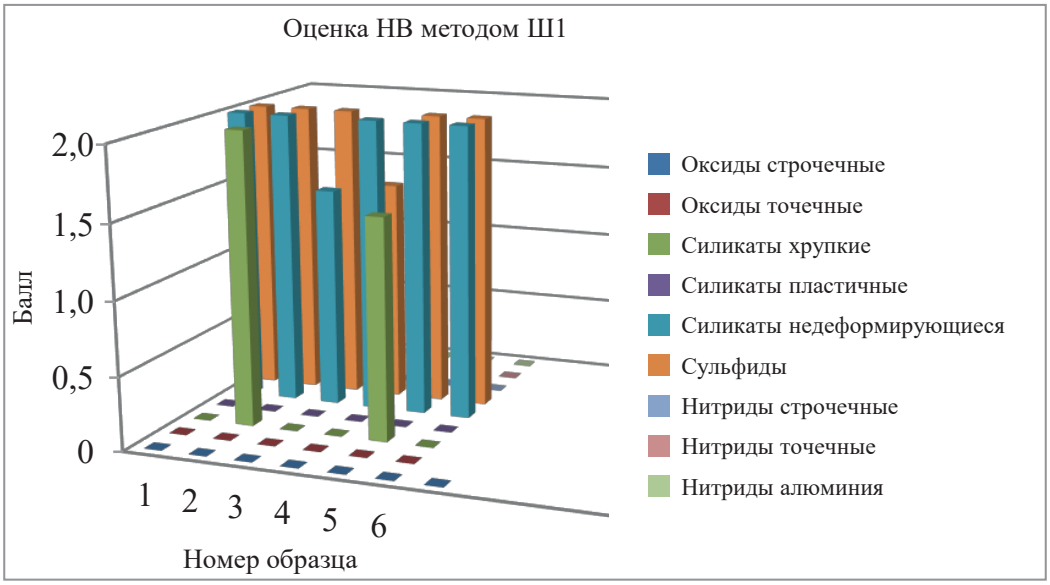


Рис. 4. Оценка НВ стали марки ОС после разработки комплекса мероприятий

Выводы

На основании исследований полученных дефектов, определен порядок раскисления и модифицирования металла на участках выплавки и внепечной обработки стали, введены требования по расходу проволок, внесены изменения в технологические параметры разливки металла. Поэтапное внедрение данного комплекса технологических решений позволило существенно снизить количество дефектов на всех этапах изготовления осей.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Губенко, С. И.** Неметаллические включения в стали / С. И. Губенко, В. В. Парусов, И. В. Деревянченко. – Д.: АРТ-ПРЕСС, 2005. – 536 с.

2. Характеристика износа огнеупоров при разливке сталей, раскисленных кальцием / Я. Карья [и др.] // Металлургический завод и технология. – 1994. – С. 24–28.

REFERENCES

1. **Gubenko S. I., Parusov V. V., Derevjanchenko I. V.** *Nemetallicheskie vkljuchenija v stali* [Non-metallic inclusions in steel]. D.: ART-PRESS Publ., 2005, 536 p.

2. **Kar'ja Ja., Ne Vapi H., Hicun V.** Harakteristika iznosa ogneuporov pri razlivke stalej, raskislennyh kal'ciem [Characteristics of wear of refractories during casting of steels deoxidized with calcium]. *Metallurgicheskij zavod i tehnologija = Metallurgical plant and technology,* 1994, pp. 24–28.