



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-3-55-58>
УДК 621.745.35

Поступила 06.06.2023
Received 06.06.2023

МОДЕРНИЗАЦИЯ УЧАСТКА ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ С ЦЕЛЮ РАСШИРЕНИЯ МАРОЧНОГО СОРТАМЕНТА СТАЛЕЙ. МЕТОДЫ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ, ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ ЛЕГИРОВАННЫХ МАРОК СТАЛИ

СООБЩЕНИЕ 1. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТА ПО МОДЕРНИЗАЦИИ УЧАСТКА ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ

И. В. ПИВЦАЕВ, С. В. КОНОВАЛЕНКО, Г. В. ДЕРЕВЯНКО, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: tehn.espc2@bmz.gomel.by,

Внепечная обработка стали – ключевое звено в современных технологических процессах получения качественной стали. Недостаток мощностей на проведение технологических операций на участке внепечной обработки стали в ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» образован по причине модернизации дуговых сталеплавильных печей (ДСП) и, как следствие, их высокой производительности, а также необходимостью расширения сортамента. Поэтому одним из стратегических направлений развития металлургической отрасли в ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» явилось внедрение инвестиционного проекта «Увеличение производительности внепечной обработки стали» в сталеплавильном производстве. ОАО «БМЗ» с компанией-производителем оборудования был заключен контракт на разработку проекта, строительства и ввода в эксплуатацию двух установок типа «печь-ковш» и одного циркуляционного вакууматора типа «RH-SCOB» с возможностью форсированного обезуглероживания, что позволяет производить новые группы марок стали: особонизкоуглеродистые, низкоуглеродистые легированные стали. Горячие испытания оборудования и обработка технологии производства осуществлялись на протяжении 2019 г., ввод в эксплуатацию данного комплекса произведен 17 марта 2020 г. В ходе горячих испытаний и в процессе ввода в эксплуатацию достигнуты результаты по обезуглероживанию стали до значений $C \leq 0,002\%$.

Ключевые слова. Внепечная обработка, вакуумная дегазация, форсированное обезуглероживание, степень десульфурации.
Для цитирования. Пивцаев, И. В. Модернизация участка внепечной обработки стали с целью расширения марочного сортамента сталей. Методы внепечной обработки стали, особенности производства низкоуглеродистых легированных марок стали. Сообщение 1. Реализация проекта по модернизации участка внепечной обработки стали / И. В. Пивцаев, С. В. Коноваленко, Г. В. Деревянко // *Литье и металлургия*. 2023. № 3. С. 55–58. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-3-55-58>.

MODERNIZATION OF LADLE REFINING AREA IN ORDER TO EXPAND THE STEEL GRADES. METHODS OF LADLE REFINING OF STEEL, PECULIARITIES OF LOW-CARBON ALLOYED STEEL GRADES PRODUCTION

MESSAGE 1. IMPLEMENTATION OF THE PROJECT FOR MODERNIZATION OF STEEL LADLE REFINING AREA

I. V. PIVTSAEV, S. V. KONOVALENKO, G. V. DEREVYANKO, OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC”, Zhlobin city, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: tehn.espc2@bmz.gomel.by

Ladle refining is a key direction in modern technological processes for obtaining high quality steel. Lack of capacities for technological operations at the area of ladle refining of steel in OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC” is formed due to the modernization of arc steelmaking furnaces (EAF) and as a result their high productivity, as well as the need to expand the range of products. Therefore, one of the strategic directions of steelmaking industry development at OJSC “BSW – Management Company of the Holding “BMC” is to implement the investment project “Increase of ladle refining steelmaking productivity” in steelmaking production. BSW signed a contract with an equipment manufacturer for design development, construction and commissioning of two “ladle furnace” units and one “RH-SCOB” circulating vacuum degasser with possibility of forced decarburization, which allows to produce new groups of steel grades – low carbon steels and low carbon alloy steels. The equipment hot tests and debugging of the production technology were carried out during 2019, the commissioning of the complex was carried out on March 17, 2020. During hot tests and in the process of commissioning the results of steel decarburization to values of $C \leq 0.002\%$ were achieved.

Keywords. Ladle refining, vacuum degassing, forced decarburization, degree of desulfurization.

For citation. Pivtsaev I. V., Konovalenko S. V., Derevyanko G. V. Modernization of ladle refining area in order to expand the steel grades. Methods of ladle refining of steel, peculiarities of low-carbon alloyed steel grades production. Message 1. Implementation of the project for modernization of steel ladle refining area. Foundry production and metallurgy, 2023, no. 3, pp. 55–58. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-3-55-58>.

Введение

В настоящий момент ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» является ведущим поставщиком металлопродукции в Республике Беларусь, основным конкурентом на постсоветском пространстве и в странах Европейского Союза. Для удержания и расширения рынков сбыта, улучшения качественных и производственных показателей необходимо постоянное усовершенствование технологии производства стали. Расширение марочного сортамента сталей, усовершенствование технологии при производстве марок стали (с жесткими требованиями по баллу неметаллических включений, с особо низким содержанием серы и углерода, кордового сортамента) – основные перспективные аспекты развития предприятия.

Внедрение инвестиционного проекта «Увеличение производительности внепечной обработки стали» предполагает разработку новых технологических карт внепечной обработки стали, интеграцию в действующую технологию инновационного оборудования. В декабре 2020 г. на предприятии разработана новая технологическая карта «Выплавка, внепечная обработка и разливка подшипниковых марок стали» на основании проведенных опытных плавок марки 100Cr6. Результатом новой технологии является выполнение требований по баллу карбидной сегрегации и неметаллических включений. Разработаны и внесены изменения в технологию производства марки 4130, поставляемой для газонефтяной промышленности. Результатом является выполнение требований по баллу неметаллических включений тонкой серии – виды «В», «D» по ASTM E45 (не более 1 балла). В общей сложности за первый квартал 2020 г. разработаны (и изменены) 26 приложений к маркам стали, осуществлен выход на постоянную эксплуатацию нового оборудования внепечной обработки стали.

Проект «Увеличение производительности внепечной обработки стали» предусматривает оптимизацию основных показателей сталеплавильного производства:

1. Повышение производительности ДСП и МНЛЗ.
2. Расширение сортамента качественных, легированных, шарикоподшипниковых марок стали, марок стали для автомобильной и нефтегазовой промышленности.
3. Повышение качества производимой стали в ЭСПЦ №2.
4. Проведение испытаний по обезуглероживанию стали для освоения новых опытных марок.

Технологическая схема сталеплавильного производства

Технологическая схема сталеплавильного производства до внедрения проекта предполагала осуществление внепечной обработки стали с использованием двух агрегатов типа «печь-ковш» и одного агрегата вакуумной дегазации стали (рис. 1).

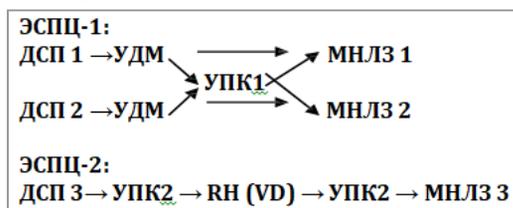




Рис. 2. Технологическая схема сталеплавильного производства после модернизации

Методы внепечной обработки стали в сталеплавильном производстве

В ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» внепечная обработка стали осуществляется по двум основным методам: базовому и комбинированному (с особыми требованиями) в зависимости от сортамента производства.

Базовый метод предполагает обработку сталей обыкновенного качества на УПК, где осуществляется десульфурация степенью 40–50%, доводка по химическому составу (легирование), нагрев и усреднение по температуре, микролегирование и модифицирование неметаллических включений.

Комбинированный метод достигается путем доводки стали на различных агрегатах внепечной обработки и разделяется на стадии: начальная обработка, вакуумная обработка, финишная доводка. Комбинированный метод подразумевает обработку расплава на установках:

- «печь-ковш», где проводится легирование, нагрев, глубокое рафинирование от вредных примесей, содержание серы до значений менее 0,010% (степень десульфурации стали до 90%), микролегирование для достижения химического состава в узких пределах $\pm(0,01 - 0,03)$ % на стадии финишной доводки;
- вакуумной дегазации с возможностью присадки материалов (легирование), глубокое комплексное рафинирование от вредных примесей: кислорода $\leq [10]$ ppm, азота $\leq [50]$ ppm, водорода $\leq [1,5]$ ppm и неметаллических включений.

Инновационные комбинированные методы

Комбинированный метод, включающий в себя вакуум-кислородное обезуглероживание, разделяется на два способа: форсированное и естественное обезуглероживание.

С вводом в эксплуатацию новой установки вакуумной дегазации «РН-1» открывается возможность применения метода форсированного обезуглероживания стали как с использованием химического нагрева посредством газокислородной фурмы, так и без него. Применяя данный метод, можно получить особо низкие значения углерода $[C] \leq 0,002$ %, а также достичь производства низкоуглеродистых низколегированных марок стали типа 08Г2С, 08ХГСМА.

Ранее при производстве марки Св-08Г2С в ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» достижение требуемых значений по содержанию углерода в готовом сорте было трудновыполнимо, рост углерода наблюдался на всех стадиях производства. На данный момент в сталеплавильном производстве оптимизирована технология внепечной обработки марки Св-08Г2С, разработан вариант внепечной обработки с применением естественного способа обезуглероживания.

Естественное обезуглероживание. Процесс подразумевает обезуглероживание за счет окисления углерода растворенным в стали кислородом (без дополнительного ввода газообразного кислорода) в камере циркуляционного вакууматора в условиях высокого разрежения.

Описание процесса вакуумной обработки на примере производства марки Св-08Г2С [ГОСТ 2246]. Особенности производства низкоуглеродистых легированных марок стали

Требования контрольных пределов по химическому составу (см. таблицу) необходимы для достижения механических свойств катанки. Использование ферросплавов (ферросиликомарганца и ферросилиция) неизбежно вносит углерод в сталь во время легирования, на выпуске и при проведении внепечной обработки, причем насыщение углеродом происходит постоянно от огнеупорных изделий и добавочных материалов (теплоизолирующих и шлакообразующих смесей) в процессе разлива стали. Таким образом, при доводке плавов необходимо удерживать содержание углерода в расплаве на уровне 0,06 %.

На основании расчетных данных расход ферросплавов составляет: ферросиликомарганца $MnSi18(17) - 27,43$ кг/т, при этом вносится кремния – $(Si MnSi18) = 27,43 \cdot 107 \cdot 95 \cdot 16,9 / 107000 \cdot 100 = 0,44$ %, углерода – $(C MnSi18) = 27,43 \cdot 107 \cdot 95 \cdot 1,85 / 107000 \cdot 100 = 0,048$ %, ферросилиция $ФС65 - 5,22$ кг/т, при этом вносится углерода – 0,0005 %.

Требования по массовой доле химических элементов в стали

Параметры	Диапазон	Массовая доля химических элементов в стали, %									
		C*	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	N
Требования ТД	min	0,05	0,70	1,80	–	–	–	–	–	–	–
	max	0,09	0,95	2,00	0,025	0,025	0,08	0,08	0,20	0,050	0,010
Контрольные пределы	min	0,05	0,70	1,80	–	–	–	–	–	0,005	–
	max	0,08	0,80	1,90	0,020	0,020	0,07	0,07	0,19	0,020	0,009

* Требования по массовой доле углерода согласно ГОСТ 2246 не более 0,11 %.

Насыщение стали углеродом от присадки алюминия на раскисление не учитывается, содержание кремния перед выпуском составляет ~0,02 %, марганца ~0,04 %.

Среднее содержание углерода в расплаве ДСП – порядка ~ 0,025 %. Таким образом, содержание углерода в стали после гомогенизации ферросплавов составит 0,0735 %. На основании статистических данных минимальный прирост углерода при внепечной обработке составляет 0,01 %, при разливке стали до 0,01 % насыщение происходит от остатков корольков металла в огнеупорной футеровке сталеразливочных ковшей (с предыдущих плавов), шлакообразующих и утепляющих смесей, в результате чего содержание углерода в готовом сорте превышает требования контрольных пределов. Также следует отметить, что принятые в расчете коэффициенты усвоения являются максимальными и не учитывают угар базовых элементов во время присадки ферросплавов при выпуске расплава из ДСП (отходящие газы, переход оксидов марганца, кремния в шлак). Практически расход ферросплавов увеличивается до 15 %, требуется дополнительное раскисление ковшевого шлака для восстановления легирующих элементов, что влечет за собой дополнительные временные и энергетические затраты.

Для максимального усвоения базовых элементов из ферросплавов и тем самым с целью снижения насыщения стали углеродом основной задачей явилось удаление свободного кислорода и остаточного углерода из расплава на стадии внепечной обработки.

В условиях низкого вакуума $P_{CO} < 10$ мбар, при температуре расплава ~1600 °С содержание углерода в стали может быть снижено при значениях углерода ~400 ppm или ниже и значениях кислорода a[O] ~200 ppm или выше. В зависимости от режима обработки за 15–25 мин достигается снижение содержания углерода от ~ 450 до ~ 20 ppm.

Потребление кислорода для обезуглероживания расплава составит: начальное содержание [C]=0,0300 % (учитывая прирост 0,0050 % после выпуска плавки), конечное содержание [C]=0,0020 %, $\Delta[C]=0,0280$ % ($\Delta C \sim 280$ ppm). Требуемое потребление кислорода a[O]: $280 \text{ ppm C} \cdot 16/12 = 373 \text{ ppm a[O]}$.

Выводы

1. Внедрение инвестиционного проекта «Увеличение производительности внепечной обработки стали» в ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» позволило осуществить оптимизацию технологии производства и исследовать процессы вакуумирования стали под действием низкого разрежения.

2. При оптимизации технологии внепечной обработки стали (на примере марки Св-08Г2С) достигнут результат по снижению содержания углерода после вакуумной обработки до значения [C]=0,0020 % в жидкой стали.

3. Опираясь технологическими параметрами внедренного проекта, в ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» открываются возможности для разработки технологии производства новых групп марок стали, в том числе марок с особо низким содержанием углерода.