



There are achieved all production-technological figures, concerned with embedding of the out-of-furnace processing "bowl-furnace" installation, i.e the casting duration in the steel-making furnace is reduced, the consumption of electrodes per one ton of good steel is reduced, and also the consumption of refractory bricks is reduced and metal overflows into furnace are excluded.

В. Ю. ГУНЕНКОВ, В. А. ТИЩЕНКО, В. В. ПИВЦАЕВ, Ю. В. КАРПОВИЧ, РУП «БМЗ»

УДК 669

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ РУП «БМЗ» НА ПРИМЕРЕ ЭСПЦ-1

К концу прошлого и началу нынешнего тысячелетия в мировой практике производства стали сложилась тенденция рационального использования возможностей современных сталеплавильных печей. Исходя из этого, все мировые производители электростали рассматривают прежде всего ДСП как агрегат для расплавления твердой металлошихты с получением полупродукта в виде расплавленного металла, с параллельным проведением окислительных процессов в печи. Такие новые технологические решения позволяют проводить процессы десульфурации, раскисления, дегазации, модифицирования и легирования в ковше. С применением же в технологической цепочке ДСП – МНЛЗ дополнительного металлургического агрегата «ковш-печь» открываются новые возможности ведения процессов внепечного рафинирования стали, что позволит осуществить вне печи ведение тех реакций, которые или неэффективно осуществляются в сталеплавильном агрегате, или вообще не могут быть в нем осуществлены.

Технологическая необходимость установки «ковш-печь» в ЭСПЦ-1

В связи с наращиванием объемов производства стали, расширения сортамента продукции, повышения его качества и снижения себестоимости руководством РУП «БМЗ» было принято решение о строительстве и вводе в эксплуатацию установки «ковш-печь» в ЭСПЦ-1. Проект и технология «ковш-печь» были разработаны инженеринговой фирмой «Фёст-Альпине» (Австрия). Этой же фирмой было предоставлено оборудование установки и системы технологического и автоматизированного управления процессами с высоким уровнем экологической безопасности. Строительство установки «ковш-печь» началось во втором квартале 2001 г. Строительные и пусконаладочные работы осуществлялись самим предприятием за счет кредитных средств в рамках программы реконструкции завода. В третьем квартале 2002 г., как и планировалось, РУП «Белорусский металлургический завод» ввел в эксплуатацию в ЭСПЦ-1

агрегат внепечной обработки стали «ковш-печь» объемом 100 т.

В апреле 2003 г. в ЭСПЦ-1 были завершены все пусконаладочные работы и пущена в эксплуатацию установка «ковш-печь». Ввод в эксплуатацию установки «ковш-печь» в линию ДСП-1,2 – МНЛЗ-1,2 в ЭСПЦ-1 позволил изменить технологию выплавки и внепечной обработки стали. До пуска в эксплуатацию установки «ковш-печь» технология выплавки углеродистых и низколегированных сталей в ЭСПЦ-1 представляла следующую схему: ДСП-1,2 – УДМ (продувка аргоном, азотом) – МНЛЗ-1,2. Последующие изменения коснулись всей технологической цепочки производства стали в ЭСПЦ-1 с переходом на новую схему ДСП-1,2 – УДМ – ПК – МНЛЗ-1,2.

Технико-экономический рост производства

С пуском в эксплуатацию установки «ковш-печь» наметился резкий рост производства, что позволило увеличить в 2003 г. месячное производство стали в ЭСПЦ-1 с 88 953 т в марте до 108 158 т в октябре (рис. 1). В процентном выражении среднее производство стали увеличилось, как и предполагалось, на 18–20%.

В январе и феврале перебои в поставках металлошихты не позволили работать цеху в нормальном режиме. В сентябре–октябре произо-

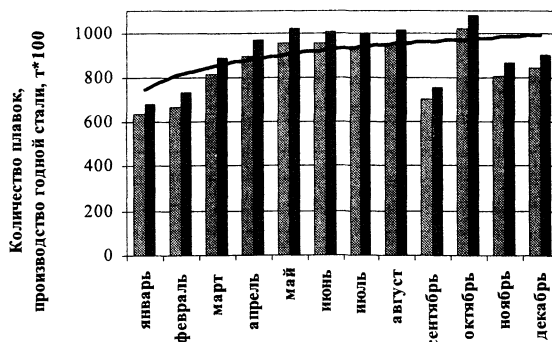


Рис. 1. Динамика роста количества плавов, выплавленных на ДСП-1,2 в 2003 г.

шел некоторый спад роста производства. Этому способствовал капитальный ремонт ДСП-1, в конце ноября и начале декабря – капитальный ремонт ДСП-2. В целом же прирост производства стали в ЭСПЦ-1, связанный с пуском установки «ковш-печь», выглядит отчетливо, и, как предполагалось, установка «ковш-печь» достигла своей проектной мощности в четвертом квартале прошлого года.

Начиная с мая в ЭСПЦ-1 наметился значительный рост среднемесячной производительности печей. При этом часовая производительность ДСП возросла в период с июня (79 т/ч) по ноябрь (89 т/ч) за счет повышения мобильности и стабильной работы цеха при наличии установки «печь-ковш» (рис. 2). Снижение производительности печей в декабре 2003 г. было связано с зимними условиями шихтовки и необходимостью просушки лома от наледи с целью исключения взрывов при завалке лома в печь.

Пуск в эксплуатацию установки «ковш-печь» способствовал стабильному снижению удельного расхода электроэнергии, хотя к концу года этот показатель был сведен до минимума из-за пусконаладочных работ, которые проводились на протяжении месяца, связанные с вводом на ДСП-2 трансформатора мощностью 95 МВА. Работа копрового цеха в зимний период внесла свои коррективы, что явилось подачей в цех обледеневшей, заснеженной шихты, для которой потребовалось дополнительное количество электроэнергии. В целом же удельный расход электроэнергии на плавку в ДСП-1,2 за рассматриваемый период снизился более чем на 5%: с 507 до 480 кВт·ч/т годного (рис. 3).

Анализ изменения общей продолжительности и длительности плавки под током за 2003 г. (среднее значение) показал, что имеется положительная тенденция, связанная со снижением этих показателей (рис. 4). Некоторый рост этих показателей в июле-августе объясняется отработкой технологии выплавки и внепечной обработки стали. В декабре увеличение показателей имело место все по той же причине, связанной с использованием дополнительного количества электроэнергии, необходимой на расплав заснеженной металлошихты.

Один из положительных моментов, связанный с вводом в эксплуатацию установки «ковш-печь», – снижение расхода электродов за 2003 г. (рис. 5), так как отпала необходимость в перегревах металла в ДСП. Отметим, что по сравнению с 2002 г. в 2003 г. в ЭСПЦ-1 использовали электроды российских производителей (Новочеркасск, Новосибирск) не лучшего качества и уступавшие импортным производителям в удельном их расходе. В конечном итоге расход электродов по сравнению с 2002 г. снизился на 5–6 %.

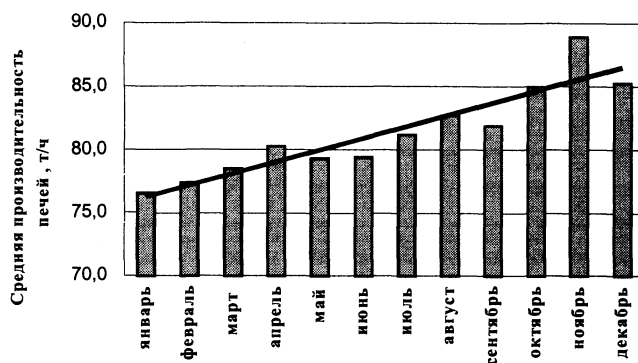


Рис. 2. Динамика роста производительности печей в 2003 г.

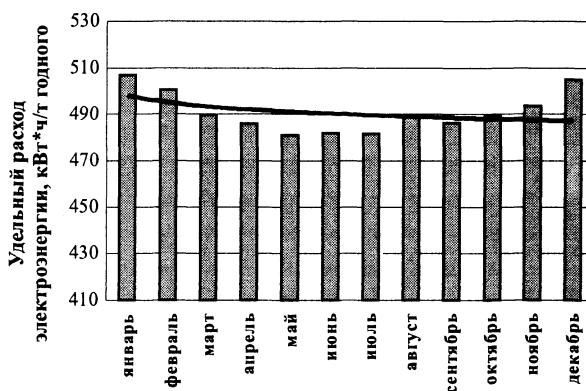


Рис. 3. Динамика удельного расхода электроэнергии в 2003 г.

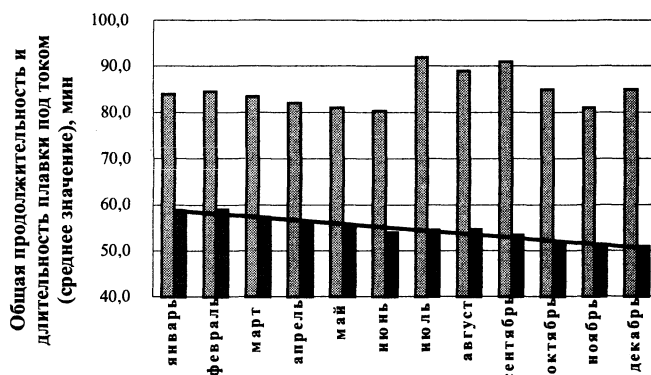


Рис. 4. Общая продолжительность и длительность плавки под током (среднее значение) за 2003 г.

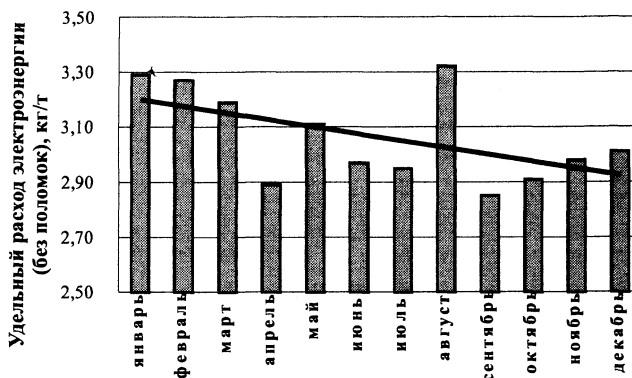


Рис. 5. Динамика удельного расхода электродов в 2003 г.

Одним из самых прогрессирующих технико-экономических факторов за 2003 г. явилось снижение длительности горячих простоев ДСП (основное – ожидание разливки) и МНЛЗ (основное – ожидание металла) (рис. 6). Такое снижение стало возможным с вводом в эксплуатацию установки «ковш-печь», которая стала своеобразной буферной зоной между ДСП и МНЛЗ, тем самым решив проблему как и ожидания разливки металла, так и проблему, связанную с простоем печей из-за невозможности увеличения серийности разливки. В сумме эти простои оборачивались в использование необоснованно больших дополнительных затрат на электроэнергию, связанных с нештатными остановками и пуском металлургических агрегатов.

Как следствие, из снижения длительности горячих простоев МНЛЗ вытекает рост увеличения серийности разливки на МНЛЗ, который из 4, 5 плавов в январе увеличился до стабильных 7 плавов в октябре, тем самым обозначив дальнейшие приоритетные направления в области увеличения серийности разливки (рис. 7). Наравне с предыдущим показателем произошло и снижение длительности разливки плавки на МНЛЗ, что было явным преимуществом, связанным с резким уменьшением числа простоев ДСП по причине отставания разливки металла во времени по сравнению с ее выплавкой в ДСП (рис. 8).

После ввода в эксплуатацию установки «ковш-печь» и с увеличением производства стали в ЭСПЦ-1 были созданы условия расширения сортамента выпускаемых сталей для получения литых заготовок из качественных сталей для холодной высадки (ГОСТ 10702), конструкционных (ГОСТ 1050), высокоуглеродистых, в том числе кордовых, а также низкоуглеродистых с низким содержанием кремния (0,05–0,17%). Всего в ЭСПЦ-1 за 2003 г. выплавляли более 50 видов марок стали. Наибольшую долю в сортаменте выплавленного металла занимают рядовые марки стали (88%), из них основной объем приходится на А500С – 24,2 %; СтЗсп – 10,9; Ст1сп – 9,1; 25Г2С – 8,4; 460В – 8,3; В8Т 500S – 5,4 %. Всего внепечной обработке на установке «ковш-печь» подвергли 40,7% плавов от годовой выплавки. С учетом того что установка «печь-ковш» начала эксплуатироваться в рабочем режиме с 20 апреля было обработано 55,7% плавов. В него входит 55,6% рядовых, 55,4% низколегированных и 100%

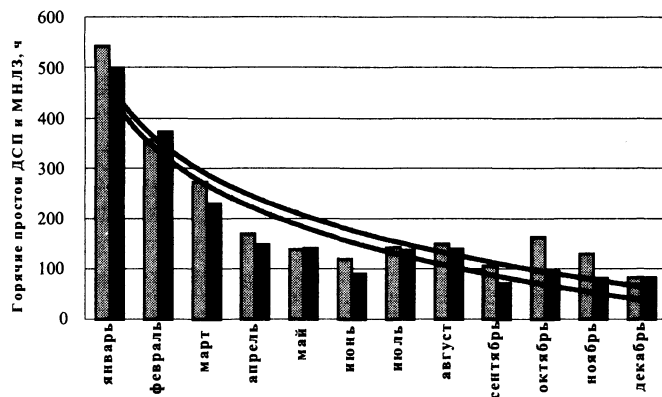


Рис. 6. Динамика горячих простоев ДСП (основное – ожидание разливки) и МНЛЗ (основное – ожидание металла) за 2003 г.

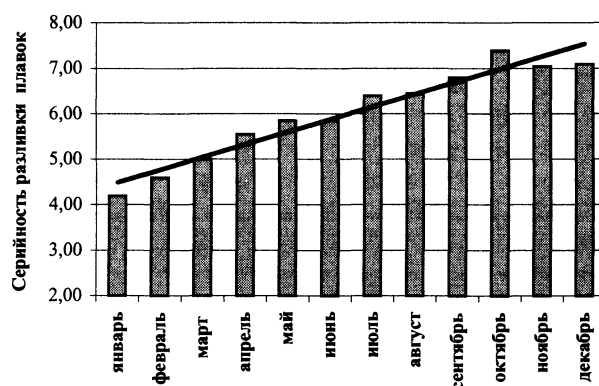


Рис. 7. Серийность разливки на МНЛЗ в 2003 г.

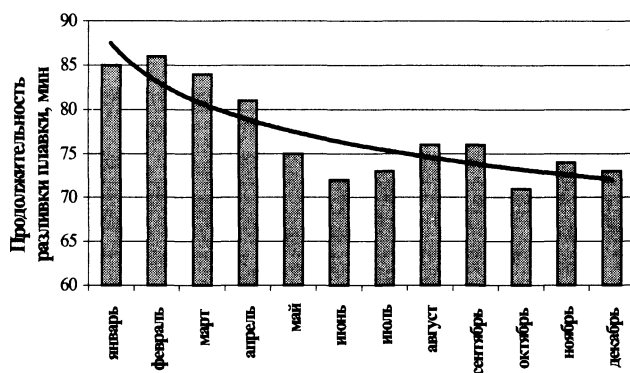


Рис. 8. Динамика продолжительности разливки на МНЛЗ в 2003 г.

качественных марок стали зарубежных стандартов (SAE 1008, С 18 D – С 76 D), остальные плавки обрабатывали на установках доводки металла (УДМ).

Сравнительные технико-экономические показатели производства стали в ЭСПЦ-1 за период 2002–2003 гг. приведены в табл. 1.

Таблица 1. Сравнительные технико-экономические показатели производства стали в ЭСПЦ-1 за период 2002–2003 гг.

| Параметр | За 2002 г. | Среднее за месяц | За 2003 г. | Среднее за месяц | Отклонение по году |
|---|------------|------------------|-------------------|------------------|--------------------|
| Количество плавов, шт. | 9459 | 788,25 | 10199 | 849,9 | + 740 |
| Производство на ДСП-1, т годного | 506277 | 42189,75 | 559712,38 | 46642,7 | + 53435,3 |
| Производство на ДСП-2, т годного | 512610 | 42717,50 | 555803,3 | 46316,9 | + 43193,3 |
| Суммарное производство на ДСП-1,2, т годного | 1018887 | 84907,25 | 1115515,6 | 92959,6 | + 96628,6 |
| Средняя производительность печи, т/ч | 75,1 | - | 81,43 | - | + 6,33 |
| Средняя масса плавов, т годного | 107,8 | - | 107,13 | - | - 0,67 |
| Выход годного, % | 97,6 | - | 97,9 | - | + 0,3 |
| Удельный расход электроэнергии, кВтч/т годного | 503,11 | - | 476,26 | - | - 26,85 |
| Средняя длительность плавки, мин | 84 | - | 78 | - | - 6 |
| Средняя длительность плавки под током, мин | 58,3 | - | 52,9 | - | - 5,4 |
| Серийность разливки плавов | 4 | - | 6,02 | - | + 2,02 |
| Удельный расход электродов диаметром 610 мм (без поломок), кг/т | 3,2 | - | 3,04 | - | - 0,16 |
| Горячие простои печей, ч | 3346,8 | 278,90 | 2452,36 | 204,36 | - 894,4 |
| Простои МНЛЗ-1,2 (ожидание металла), ч | 2674,1 | 222,84 | 2109,17 | 175,7 | - 564,9 |
| Продолжительность разливки одного ковша, мин | 80 | - | 70,2 | - | - 9,8 |
| Всего брака | 1560,24 | 13,02 | 1070,59 (0,1%) | 89,21 | - 489,65 |
| Аварийный брак | 111,5 | 9,29 | 73,9 (0,01%) | 6,16 | - 37,6 |
| Брак в заготовке | 1148,7 | 95,73 | 787,29 (0,07%) | 65,6 | - 361,4 |
| Брак одного передела | 299,14 | 24,93 | 209,4 (0,02%) | 17,45 | - 89,7 |

Технологические возможности установки «ковш-печь» в ЭСПЦ-1

Установка «ковш-печь» в ЭСПЦ-1 предназначена для выполнения следующих основных задач.

1. Сокращения времени выплавки плавки и снижения расхода электроэнергии сталеплавильного агрегата, повышения производительности стали.

2. Гомогенизации расплава в ковше за счет донной продувки инертным газом (аргоном, азотом).

3. Раскисления, легирования и регулирования окончательного химического состава марок сталей путем ввода легирующих элементов в узких пределах.

4. Удаления и модифицирования неметаллических включений, находящихся в металле и образующихся в процессе раскисления и легирования.

5. Проведения десульфурации стали (до 80%).

6. Точной корректировки температуры металла для выполнения условий непрерывной разливки стали.

Кроме того, данная установка является промежуточным агрегатом между ДСП и МНЛЗ, что

очень важно в согласованной работе сталеплавильных агрегатов и машины непрерывной разливки стали.

В комплекс установки «ковш-печь» ЭСПЦ-1 входят трансформатор мощностью 15 МВА; система высотных бункеров для подачи раскислителей и легирующих; установка «Velco» с фурмой для вдувания ТШС; двухручьевого трайбаппарат для ввода порошковой проволоки (алюминиевой, углеродсодержащей, силикокальциевой); манипулятор для выполнения автоматического измерения температуры металла и отбора проб в ковше. С вводом установки «ковш-печь» в ЭСПЦ-1 весь парк сталеразливочных ковшей был переведен на систему донной продувки металла, которая состоит из двух продувочных щелевых пробок, расположенных в днище ковша. Отметим, что установка «Velco» на ПК-1 имеет футерованную стационарную фурму для вдувания ТШС. Технические характеристики установки ПК-1 приведены в табл. 2.

Таблица 2. Технические характеристики установки ПК-1

| Параметр | ПК-1 |
|---------------------------------------|-----------|
| Номинальное время доводки плавов, мин | 40 |
| Мощность трансформатора, МВА | 15 + 20% |
| Максимальный ток электрода, кА | 35 |
| Вторичное напряжение, В | 180 - 290 |
| Скорость нагрева рабочая, °С/мин | 1 - 4 |
| Расход аргона, м ³ /ч | 20 - 40 |
| Давление аргона, МПа | 0,8 |

В настоящее время на установке «ковш-печь» в ЭСПЦ-1 определены следующие режимы рабо-

ты трансформатора на шести рабочих ступенях напряжения (табл. 3).

Таблица 3. Режимы работы трансформатора установки ПК-1

| Ступень | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|
| Активная мощность, МВА | 5,2 | 6,4 | 7,7 | 10,0 | 11,8 | 12,6 |
| Длина дуги, мм | 34 | 42 | 51 | 54 | 69 | 88 |
| Минимальная толщина шлака, мм | 60 | 60 | 70 | 90 | 90 | 90 |
| Скорость нагрева, °С/мин | 2,2 | 2,4 | 2,9 | 3,6 | 3,8 | 4,2 |

Эффективность использования электроэнергии достигается при толщине слоя шлака в ковше на 20–25% большей, чем длина дуги. При выполнении этого условия скорость нагрева металла составляет 2,2–4,3°С/мин в зависимости от используемой ступени трансформатора. Железоуглеродистый полупродукт, получаемый в ДСП-1,2, характеризуется повышенным содержанием серы (0,055–0,10%). В связи с этим десульфурацию проводят в несколько этапов: на выпуске плавки в ковш удаляют 25–30% исходной концентрации, а остальное количество серы – на установке «ковш-печь». С применением установки «Velco» для вдувания ТШС возможна передача железоуглеродистого полупродукта из ДСП с содержанием серы 0,065–0,075%, где эффективность этого процесса по степени десульфурации более 50%. Состав ТШС – известь + плавиковый шпат + АКС, иногда ИРС + инертный газ (азот или аргон).

Кроме эффективной десульфурации, внепечная обработка металла на установке «ковш-печь» позволяет получать стали с узкими пределами содержания элементов, в частности углерода не более 0,03%. Это достигается точной корректировкой химического состава металла путем ввода углеродсодержащей порошковой проволоки с помощью трайбаппарата. Также отработана технология модифицирования неметаллических включений силикокальциевой проволокой. Освоена технология производства высокоуглеродистой стали кордового качества с низким содержанием серы (<0,025%) и ограничениями по содержанию неметаллических включений.

Благодаря проведению внепечной обработки на установке «ковш-печь» практически исключена отбраковка по загрязненности неметаллическими включениями даже таких специфических сталей, как кордового качества. Этому способствовала более эффективная система продувки стали с применением в днище ковша двух продувочных

щелевых пробок для подачи инертного газа, на которые был переведен весь парк сталеразливочных ковшей в ЭСПЦ-1.

В настоящее время достигнуты следующие показатели работы установки «ковш-печь»: удельный расход электроэнергии – 35,6–37,62 кВт·ч/т, аргона – 0,27 м³/т, графитизированных электродов – 0,40 кг/т; длительность внепечной обработки (с учетом согласования серийной разливки на МНЛЗ) – 55 мин, под током – 32 мин; средняя скорость десульфурации – 0,00065%/мин.

Выводы

Таким образом, реконструкция оборудования сталеплавильного производства в ЭСПЦ-1, связанная с вводом в эксплуатацию установки «ковш-печь», органично вписалась в общую программу технического перевооружения БМЗ, гарантируя при этом высокое качество продукции и ритмичность производства, обеспечивая уверенное движение вперед всего предприятия. Проанализировав показатели работы ЭСПЦ-1 за 2003 г., можно отметить, что, как и ожидалось, достигнуты все производственно-технологические показатели, связанные с внедрением установки внепечной обработки «ковш-печь», а именно.

1. Продолжительность плавки в ДСП сократилась на 6 мин, что позволило увеличить производство на 96 629 т годной заготовки.

2. Расход электродов на 1 т годной стали снизился с 3,2 до 3,04 кг/т, т.е. на 0,16 кг/т.

3. Расход огнеупоров за счет увеличения серийности снизился в среднем на 0,658 кг/т.

4. Вследствие улучшения организации производства в ЭСПЦ-1 и увеличения гибкости процесса в 2003 г. были исключены переливы металла в печь, которые в 2002 г. составили около 4 тыс. т.

5. С окончанием пусконаладочных работ, связанных с установкой «Velco» для вдувания ТШС, расход извести снизится с 52 до 43 кг/т, что позволит частично покрыть дефицит извести в условиях РУП «БМЗ».