

кладки и получить достоверные данные о текущем профиле рабочего пространства в различные периоды кампании агрегата.

Комплексный анализ с совместным использованием интегрального показателя динамики отклонения внутренней топографии футеровки конвертера от требуемой и результатов сканирования рабочего пространства позволит:

- предотвратить возникновение аварийных ситуаций при эксплуатации агрегата;
- поддерживать требуемые параметры топографии внутренней поверхности футеровки по ходу кампании с обоснованием рациональных способов ремонта.
- сократить простои агрегата и удельный расход дорогостоящих магнезиальных материалов и флюсов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Воронина О.Б. Совершенствование методов контроля за эксплуатацией футеровки конвертера / Воронина О.Б., Овсянников В.Г., Дюльдина Э.В. // Известия Челябинского научного центра. – 2003. – Вып. 1 (18). – С.32-38.
2. Методы исследования характера износа огнеупорных футеровок конвертеров / Х.В.Гуденау, Х.Нефе, Р.Хёффкен [и др.] // Черные металлы. – 1997. – № 5. – С.23-29.
3. Ламм Р. Использование технологии 3-х размерного лазерного сканирования в качестве технологического инструмента в конвертерном цехе / Ламм Р., Винтьенс П. // Труды восьмого конгресса сталеплавателей, г. Нижний Тагил, 18-22 окт. 2004 г. – М: ОАО «Черметинформация», 2005. – С.97-102.
4. Новые технологические режимы нанесения шлакового гарнисажа на футеровку конвертера / А.Г.Чернятевич, Е.Н.Сигарев, И.В.Чернятевич [и др.] // Теория и практика металлургии. – 2011. – №5-6. (часть II (83-83)). – С.19-27.
5. Петрунин С.М. О совместном синтезе объектов и управляющих систем / С.М.Петрунин, Л.П.Мышляев // Системы управления и информационные технологии. – 2007. – Вып.3(29). – С.185-187.
6. Суворов С.А. Динамика образования гарнисажного слоя на поверхности футеровки конвертера и ресурс эксплуатации / Суворов С.А., Козлов В.В. // Огнеупоры и техническая керамика. – 2009. – №7-8. – С.3-6.

*Поступила в редколлегию 18.09.2014.*

УДК 669.184

ЧЕРНЯТЕВИЧ А.Г., д.т.н., профессор  
СИГАРЕВ Е.Н., д.т.н., профессор  
ЧУБИНА Е.А., к.т.н., доцент  
РУДЕНКО Р.Н., аспирант

Днепродзержинский государственный технический университет

### РАЗРАБОТКА ДУТЬЕВОГО И ШЛАКОВОГО РЕЖИМОВ ПЛАВКИ ДЛЯ БОЛЬШЕГРУЗНОГО КОНВЕРТЕРА

**Введение.** Результаты теоретического обоснования и моделирования продувки конвертерной ванны [1] были использованы для разработки и проведения испытаний конструкции наконечника кислородной фурмы, предназначенного для интенсификации продувки конвертерной ванны. Отработка дутьевого и шлакового режимов плавки проведена в 330-т конвертере с комбинированной продувкой КЦ №2 ОАО «НЛМК».

**Постановка задачи.** Выполненный анализ технической литературы [2-4], отражающей результаты отработки и освоения в кислородно-конвертерных цехах Украины

и России технологии дутьевого и шлакового режимов ведения плавки в большегрузных конвертерах садкой 250-370 т при интенсивности продувки кислородом в пределах 1000-1600 м<sup>3</sup>/мин, показал, что с точки зрения ускорения процесса шлакообразования, осуществления продувки ванны под вспененным шлаком с уменьшением выноса металла и заматалливания технологического оборудования, необходимо:

- использовать конструкцию наконечника фурмы с числом сопел в пределах 6-11 шт. и эффективную систему охлаждения межсоплового пространства;
- установить оптимальную начальную и рабочую высоту расположения фурмы над уровнем спокойной ванны при данной интенсивности продувки и режиме присадки сыпучих материалов;
- установить оптимальные параметры расхода кислорода и высоты фурмы над ванной на окончательном этапе продувки и при додувках во избежание переокисления металла и шлака при содержаниях углерода ниже 0,04%.

**Результаты работы.** С учетом результатов выполненных авторами исследований, разработок [3, 4] и опыта эксплуатации кислородных фурм с центральным подводом охлаждающей воды к наконечнику [5] первоначально было предложено использовать вместо штатной 6-тисопловой конструкции сварного наконечника разработанный ковано-сварной 6-тисопловый наконечник для фурм с центральным подводом воды.

В первоначально предложенной конструкции наконечника [6] предусматривалось наличие сменных насадок с 3-мя соплами Лаваля и 3-мя цилиндрическими. В таком варианте в ходе продувки струи кислорода, истекающие из сопел Лаваля, внедряются на большую глубину, чем струи, формируемые цилиндрическими сопловыми насадками. Это позволяет обеспечить одновременно «мягкое» и «жесткое» дутье при постоянном расходе кислорода и высоте расположения фурмы над ванной, интенсифицировать обезуглероживание ванны и растворение лома за счет «жесткого» дутья. Кроме того, обеспечивается ускорение формирования надлежащего по химическому составу и физическим свойствам шлака в результате одновременной «мягкой» продувки тангенциально направленными на ванну струями, предотвращение выбросов, «сворачивания» шлака и заматалливания ствола фурмы и горловины конвертера.

Необходимо отметить, что по причинам, прежде всего, не соответствующих требованиям возможностей цеха ремонта сталеплавильного оборудования ОАО «НЛМК», предложенная конструкция наконечника фурмы не получила поддержки инженерно-технического персонала цеха. С учетом выдвинутых требований была разработана новая конструкция 6-тисоплового наконечника с двумя углами наклона сопел Лаваля (рис.1, табл.1) с учетом штатной технологии изготовления сварных наконечников.

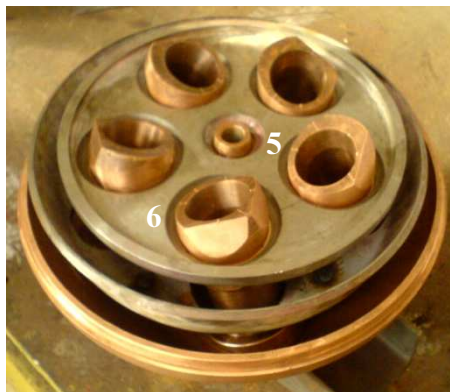
Таблица 1 – Конструктивные параметры 6-тисопловых наконечников (рис.1, 2)

№	Наименование параметров	Расход кислорода, нм <sup>3</sup> /мин	
		1200-900	1500-900
1	2	3	4
1	Число сопел, шт., в том числе цилиндрических Лаваля	6 1 5	6 1 5
2	Диаметр цилиндрического сопла ( $d_{ц}$ ), м	0,0217	0,0242
3	Критический диаметр сопла Лаваля ( $d_{кр}^{Л}$ ), м	0,048	0,0537
4	Входной диаметр сопла Лаваля ( $d_{вх}^{Л}$ ), м	0,0577	0,0638
5	Выходной диаметр сопла Лаваля ( $d_{вых}^{Л}$ ), м	0,0608	0,068
6	Длина докритической части сопла Лаваля ( $l_0$ ), м	0,024	0,0268
7	Длина закритической части сопла Лаваля ( $l_3$ ), м	0,091	0,102





а)



б)

Рисунок 2 – Общий вид (а) и сопла (б) предложенного сварного наконечника. Обозначения как и на рис.1.

в рабочем пространстве конвертера.

В ходе проведения испытаний в условиях ОАО «НЛМК» при массе садки агрегата 360 т, в том числе 265-295 т жидкого чугуна и 65-95 т твердой металлической шихты, использовался жидкий передельный чугун, содержащий в среднем 4,2% С, 0,15% Mn, 0,58% Si, 0,06% P, 0,016% S и имеющий температуру 1348 °С. В качестве основных шлакообразующих материалов применялись известь и обожженный доломит со средним расходом 18,5 и 2,5 т соответственно.

С учетом особенностей наконечника (рис.1) были разработаны дутьевой и шлаковый режимы конвертерной плавки под расход кислорода 1200 и 1500  $\text{м}^3/\text{мин}$  (рис.3).

В соответствии с разработанными дутьевым и шлаковым режимами (рис.3) в течение первых 2-4 минут при расходе кислорода 1200  $\text{м}^3/\text{мин}$  продувка ведется при положении фурмы 3,2-2,2 м, после чего на протяжении одной минуты фурма опускается до рабочего положения 2,0-1,6 м.

В случае расхода кислорода 1500  $\text{м}^3/\text{мин}$  в течение первых 1,5-2 минут продувка ведется при положении фурмы 3,6-2,4 м, а затем фурма снижается до рабочей высоты 2,3-1,8 м.

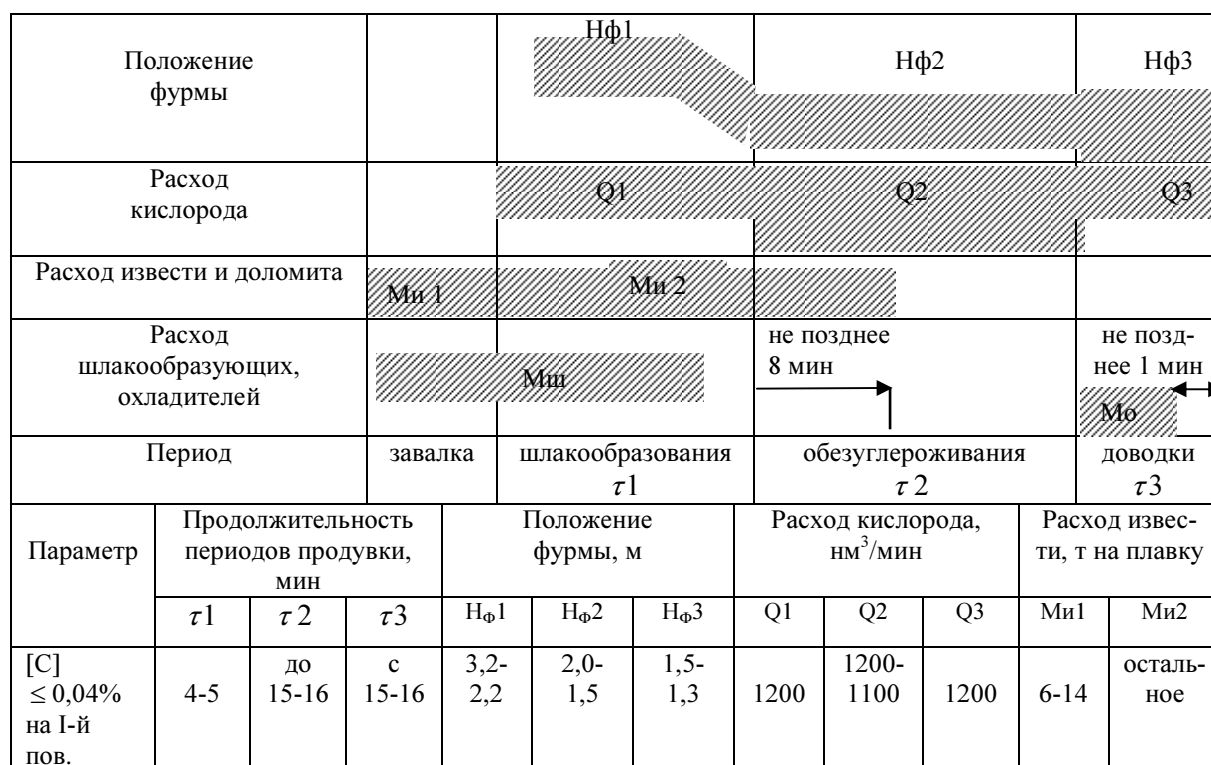
Во второй период продувки (период интенсивного обезуглероживания) при расходе кислорода 1200  $\text{м}^3/\text{мин}$  и 1500  $\text{м}^3/\text{мин}$  высоту расположения фурмы над уровнем спокойной ванны поддерживают в пределах 2,0-1,5 и 2,3-1,7 м соответственно. В период доводки высота фурмы снижается на 0,1-0,2 м относительно рабочего положения при указанных расходах кислорода.

В результате проведенных испытаний в условиях комбинированной продувки ванны 330-т конвертера кислородом сверху с расходом 1200-1500  $\text{м}^3/\text{мин}$  и нейтральным перемешивающим газом (азот, аргон) с расходом 18-25  $\text{м}^3/\text{мин}$  через 16 донных многоканальных (32 канала в каждой пробке) огнеупорных пробок установлено, что использование разработанных 6-тисопловых наконечников фурм (рис.1) обеспечивает:

- спокойный ход продувки с ускоренной наводкой (до 4-5-й минуты операции) в период шлакообразования вспененного основного шлака, перекрывающего срез наконечника;

- отсутствие в период интенсивного обезуглероживания (до 10-11 минуты операции) сильного выбивания отходящих газов из-под «юбки», выбросов металлошлаковой взвеси из конвертера и «сварачивания» шлака;

- формирование на окончательной стадии продувки (11-13 минуты операции) шлака с повышенным содержанием оксида магния, и конечное содержание углерода в металлическом полупродукте 0,02-0,03%;



а)



б)

продолжительность продувки: а) 16-18 мин; б) 13-15 мин.

Рисунок 3 – Графики управляющих воздействий по ходу продувки в конвертере с частичным дожиганием (а) и без дожигания (б) отходящих газов

– при интенсивности подачи кислорода в пределах  $1200-1500 \text{ нм}^3/\text{мин}$  продолжительность продувки (с обеспечением  $[C]_{\text{к}} \leq 0,04\%$ ) 11-13 минут, что меньше требуемого гарантийного показателя  $\leq 18$  мин;

– замедленное формирование металлошлаковой настывли на стволе фурмы (диаметр настывли 480-500 мм на стволе диаметром 426 мм после 50 плавки).

**Выводы.** Разработаны оригинальные конструкции 6-тисоплового наконечника фурмы на расход кислорода 1200-900 и 1500-900  $\text{нм}^3/\text{мин}$ . По результатам промышленного опробования установлено, что предложенная конструкция наконечника обеспечивает спокойный ход продувки с ускоренной наводкой вспененного основного шлака, отсутствие в период интенсивного обезуглероживания выбросов металлошлаковой взвеси из конвертера и «сворачивания» шлака, замедленное формирование металлошлаковой настывли на стволе фурмы. Разработаны дутьевой и шлаковый режимы плавки для большегрузного конвертера с комбинированной продувкой с учетом особенностей конструкции наконечника с двумя углами наклона сопел Лавалья.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Экспериментальное и численное моделирование газодинамики в кислородном конвертере / Е.Н.Сигарев, А.Г.Чернятевич, В.Н.Селищев, С.Е.Самохвалов // Теория и практика металлургии. – 2003. – №2. – С.32-36.
2. Результаты опробования продувки металла в 370-т кислородном конвертере семисопловой фурмой с центральным соплом / А.А.Степанова, И.М.Захаров, Д.Н.Чигасов, И.М.Шатохин // Бюллетень НТИ «Черная металлургия». – 2007. – №1. – С.20-22.
3. Интенсификация процесса продувки в 350-т конвертерах / Ю.Н.Борисов, Е.Я.Зарвин, В.М.Баптизманский [и др.] // Бюллетень ЦИИН ЧМ. – 1979. – №11. – С.32-34.
4. Чернятевич А.Г. Разработка дутьевого режима плавки для 350-т конвертеров ЗСМК / А.Г.Чернятевич, Ю.Н.Борисов // Процессы выплавки стали в конвертерах и мартеновских печах: тематич. отрасл. сб. – М.: Металлургия, 1982. – С.9-14.
5. Чернятевич А.Г. Фурмы для 250-т конвертеров / А.Г.Чернятевич, В.В.Несвет, А.Д.Зражевский // Сталь. – 1989. – №2. – С.32-35.
6. Интенсификация продувки ванны 330-т конвертеров ОАО «НЛМК» / А.Г.Чернятевич, М.М.Пеклич, А.А.Баранов [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2012. – №7. – С.56-60.

*Поступила в редколлегию 19.09.2014.*

УДК 669.15-196

АВТУХОВ А.К., к.т.н, доцент

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства  
имени Петра Василенко

#### СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ В ЦЕНТРОБЕЖНОЛИТЫХ ВАЛКАХ ИЗ ХРОМОНИКЕЛЕВОГО ЧУГУНА

**Введение.** В последние годы при производстве валков листопркатных станов используют метод центробежного литья. Такой технологический процесс позволяет получать более стабильное качество двухслойных отливок с мелким зерном, что особенно важно для формирования карбидной фазы, поскольку доля её, с одной стороны, определяет уровень твердости, а с другой – склонность к выкрашиванию рабочей поверхности при эксплуатации. Кроме того, применение такого технологического процесса позволяет экономить металл рабочего слоя, а также использовать для него менее технологичные легированные сплавы.

**Постановка задачи.** Важным в повышении эксплуатационной стойкости таких валков является обеспечение формирования однородной структуры по длине бочки. Наличие отклонений приводит к неоднородной выработке валков и разнотолщинности