

УДК 669.184.125

СИГАРЕВ Е.Н., д.т.н., профессор  
НЕДБАЙЛО Н.Н., соискатель  
СЕМЕНОВА Д.А., аспирантка  
ЧЕРНЯТЕВИЧ И.В.\* , к.т.н., зам. директора  
сталеплавильного департамента  
по технологии

Днепродзержинский государственный технический университет  
\*ПАО „Арсерол-Миталл Кривой Рог”

### **ДВУХЪЯРУСНАЯ ГАРНИСАЖНАЯ ФУРМА ДЛЯ КОНВЕРТЕРА ПАО „ДМКД”**

**Введение.** Интенсивность и степень износа футеровки конвертера оказывает непосредственное влияние на эксплуатационную готовность агрегата и показатели работы как конвертерного цеха, так и металлургического комбината. К одной из основных задач при обеспечении эксплуатационной готовности является увеличение стойкости футеровки с одновременным сокращением затрат на техническое обслуживание и ремонт.

**Постановка задачи.** В начальный период внедрения технологии набрызгивания предварительно подготовленного шлака на футеровку в конвертерном цехе ПАО „ДМКД” для вдувания азотных струй в шлаковую ванну использовали штатную 5-тисопловую кислородную фурму. Однако, как известно [1], по целому ряду причин обычная верхняя кислородная фурма не приспособлена для эффективной раздувки шлака на футеровку. По результатам анализа недостатков формирования гарнисажного шлакового покрытия с использованием кислородной фурмы, а также с целью преимущественного нанесения шлака на наиболее изнашиваемую цапфенную область конвертера по предложению Ю.И.Шиша была разработана и внедрена в промышленную эксплуатацию специальная 6-тисопловая гарнисажная водоохлаждаемая фурма со сгруппированными соплами (рис.1). Оптимизация дутьевого и шлакового режимов ведения плавки и исключение штатной кислородной 5-тисопловой фурмы из цикла раздувки конечного шлака на футеровку позволило увеличить продолжительность периода между заменой фурм с 80-105 до 410-620 плавов и, в определенной степени, повысить эффективность операции ошлакования.

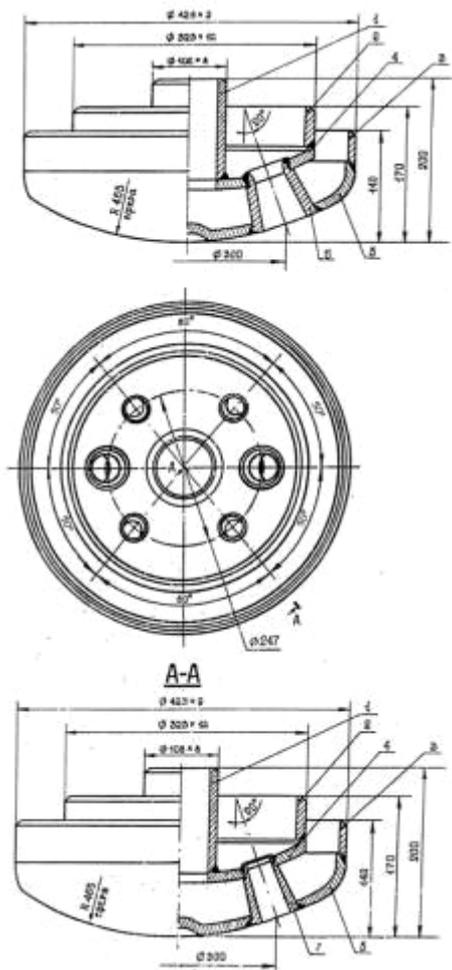
Несмотря на доказанные многолетней практикой преимущества использования специальной водоохлаждаемой 6-тисопловой гарнисажной фурмы (рис.1), к основным недостаткам применяемой на сегодня технологии подготовки шлака и ошлакования футеровки можно отнести:

- потери с выносом мелких фракций через горловину конвертера присаживаемых по ходу плавки специальных магниезальных присадок и, как следствие, сложности с обеспечением необходимых физико-химических свойств конвертерного шлака;
- сложности с равномерным покрытием шлаковым гарнисажем рабочей поверхности футеровки по всей высоте агрегата;
- периодическое формирование слоя шлаковой настывки на стволе гарнисажной фурмы по ходу раздувки шлака с последующим ее отделением и падением на рабочую площадку во время перемещения фурмы после извлечения последней из конвертера. Это осложняет поддержание безопасных условий труда и приводит к дополнительным трудовым затратам для уборки шлака.

Задачей работы является обобщение и анализ теоретических и лабораторных исследований механизма и гидрогазодинамики раздувки шлаковой ванны на стены кон-

вертера, промышленного опыта применения нетрадиционных конструкций гарнисажных фурм, проектирование и разработка конструкции наконечника двухъярусной гарнисажной фурмы для 250-т конвертеров конвертерного цеха ПАО „ДМКД” с целью повышения технико-экономической эффективности операции ошлакования футеровки.

**Результаты работы.** Для решения перечисленных проблем на первом этапе исследований были предложены изменения в конструкцию 6-тисопловой гарнисажной фурмы (рис.1), заключающиеся в следующем:



б)

а)

- 1 – патрубок подачи охлаждающей воды; 2 – патрубок подвода азота;  
 3 – патрубок отвода охлаждающей воды; 4 – верхняя чаша;  
 5 – нижняя чаша; 6 – вкладыши с соплами Лаваля большего сечения;  
 7 – вкладыши с соплами Лаваля меньшего сечения

Рисунок 1 – Конструкция (а) и вид (б) штатного 6-тисоплового наконечника со сгруппированными соплами ПАО „ДМКД”

- изготовление наконечника фурмы и сопел Лаваля было предложено осуществлять из рядовой углеродистой марки стали с исключением расхода дорогостоящей меди;

- исключение использования воды на охлаждение фурмы за счет перехода к газовому охлаждению ствола и наконечника фурмы потоком азота, подаваемым на раздувку шлаковой ванны [2].

Необходимо отметить, что при определенных преимуществах разработанной кон-



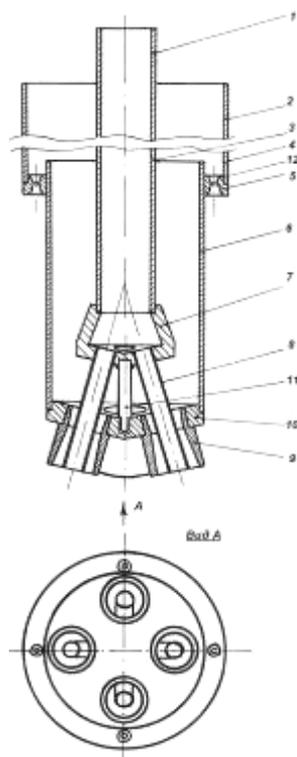


Рисунок 3 – Конструкция двухъярусной гарнисажной газоохлаждаемой газопорошковой фурмы для раздувки шлаковой ванны газовыми или газопорошковыми струями. Обозначения в тексте

наконечником 1 количество сопел Лавалья (рис.2). Сопла в верхнем кольцевом блоке и в торцевом наконечнике расположены попарно друг над другом в вертикальной плоскости. При этом суммарная площадь критических сечений сопел Лавалья в кольцевом сопловом блоке в соответствии с [5] составляет 5-15% от суммарной площади критических сечений сопел Лавалья в торцевом наконечнике. Кольцевой блок размещен по высоте наконечника фурмы на расстоянии 50-90 диаметров критического сечения сопла Лавалья торцевого наконечника.

В более совершенном варианте конструкции фурма (рис.3) имеет ствол, выполненный из внутренней трубы 1 для подвода порошкообразной магниезальной торкрет-массы и внутренней трубы 2 для подвода азота [4]. Наконечник фурмы состоит из внутренней трубы 3 подвода порошкообразной магниезальной торкрет-массы в потоке воздуха, внешней трубы большего диаметра 4, кольцевого соплового блока 5, внешней трубы меньшего диаметра 6.

Торцевой наконечник выполнен в виде верхнего распределителя 7, в котором закреплены путем сварки корпуса цилиндрических сопел 8, вставленные концентрически с кольцевым зазором с совмещением исходных сечений в корпуса сопел Лавалья 9 и закрепленные в нижней тарелке 10. При этом цилиндрические сопла 8 выступают за торец нижней тарелки и расположены наклонно и симметрично относительно продольной оси фурмы в вертикальной плоскости. Необходимое расстояние между внешней поверхностью верхнего распределителя 7 и внутренней поверхностью нижней тарелки 10 обеспечивается закрепленным в верхнем распределителе цилиндрическим фиксатором 11 с разным диаметром по высоте, торец которого с меньшим диаметром свободно входит в глухое отверстие тарелки 10.

вому охлаждению ствола, верхнего соплового блока и торцевого наконечника фурмы потоком азота, подаваемым на раздувку;

- через цилиндрические сопла торцевого наконечника фурмы в потоке газа-носителя непосредственно в шлаковую ванну подается магниезальная торкрет-масса, чем обеспечивается формирование необходимых физико-химических свойств шлака по ходу его раздувки на футеровку и сокращение потерь магниезальных присадок с отходящими газами;

- образующийся на стволе гарнисажной фурмы несплошной слой шлакового гарнисажа самопроизвольно отделяется [1] и осыпается в пределах рабочего пространства конвертера по окончании операции раздувки шлака.

В разработанном упрощенном варианте конструкции для только газовой раздувки шлака наконечник двухъярусной фурмы оснащен верхним кольцевым сопловым блоком 2, имеющим одинаковое с торцевым

Азот для раздувки шлаковой ванны подается в кольцевом зазоре между внутренней 1 и внешней трубой 6 (рис.3), поступает к тарелке 10 и в виде четырех кольцевых сверхзвуковых азотных струй вдувается в рабочее пространство конвертера по кольцевым зазорам между внутренними цилиндрическими соплами 8 и внешними соплами Лавалья 9.

Магнезиальная торкрет-масса в потоке воздуха подается через внутреннюю трубу 1 и в форме газопорошковых струй вдувается в полость конвертера через четыре цилиндрических сопла 8 (рис.3). При этом газопорошковые струи (воздух + торкрет-масса) окружены кольцевой оболочкой сверхзвукового азота, которая формируется при вдувании азота через кольцевой зазор между соплами 8 и 9.

Для предотвращения формирования сплошной шлаковой настывки на стволе фурмы [1] азот в кольцевом зазоре между внутренней 1 и внешней трубой 4 подается к верхнему кольцевому сопловому блоку 5 и в виде четырех сверхзвуковых азотных струй вдувается в рабочее пространство конвертера через сопла Лавалья 12. Азотные струи, формирующиеся соплами Лавалья 12 кольцевого блока 5, распространяются вдоль внешней поверхности трубы 6 меньшего диаметра, что приводит к предотвращению попадания капель шлака на поверхность трубы 6 по линии расположения сопел Лавалья 9 и 12. При этом исключается формирование сплошного слоя шлаковой настывки на стволе, чем обеспечиваются условия ее разрушения в пределах рабочего пространства конвертера во время извлечения фурмы по окончании операции.

За счет вдувания магнезиальной торкрет-массы в потоке воздуха непосредственно в объем шлаковой ванны обеспечивается [2] формирование капель шлака с необходимыми физико-химическими свойствами (химический состав, жидкоподвижность и т.п.) непосредственно в пределах реакционных зон с одновременным набрызгиванием капель шлака на футеровку.

Нанесение шлакового гарнисажа на футеровку 250-т конвертеров в условиях ККЦ ПАО „ДМКД” с использованием разработанной конструкции наконечника гарнисажной газопорошковой фурмы (рис.3) предлагается осуществлять по следующей схеме.

По ходу конвертерной плавки осуществляется присадка минимального количества магнезиальных шлакообразующих материалов для формирования с самого начала операции жидкоподвижного высокоосновного шлака (6-8% MgO) с повышенной серо- и фосфоропоглощающей способностью.

Раздувку конечного шлака на футеровку конвертера начинают после выпуска металла с оставлением в полости агрегата жидкоподвижного конечного шлака. Через фурменное окно вводят и опускают двухъярусную гарнисажную фурму с одновременным обеспечением подачи воздуха через сопла нижнего наконечника с общим расходом 60-80 м<sup>3</sup>/мин. Одновременно обеспечивается подача азотных струй через сопла верхнего кольцевого блока с общим расходом 40-60 м<sup>3</sup>/мин. В дальнейшем фурму устанавливают в крайнем нижнем положении по высоте и начинают раздувку шлаковой ванны струями азота с общим расходом 650-850 м<sup>3</sup>/мин. По ходу раздувки обеспечивают перемещение фурмы по высоте в диапазоне 0-1,2 м по сельсину в пределах рабочего пространства конвертера с изменением направления на противоположное.

После предварительного нанесения слоя шлака по всей высоте футеровки конвертера в течение 0,8-1,0 мин начинают подачу магнезиальной торкрет-массы в потоке воздуха через цилиндрические сопла нижнего наконечника (рис.3) с общим расходом 1450-2400 кг на операцию. Для вдувания рекомендуется использовать недефицитные дешевые торкрет-массы на основе обожженного и необожженного доломита (табл.1).

Необходимо отметить, что при использовании в качестве торкрет-массы более дорогих материалов – порошкообразного боя периклазоуглеродистой футеровки, маг-

незитового порошка – общий расход торкрет-массы сокращается до 510-525 кг на операцию (1,02-1,05 кг/мин на тонну стали) (табл.2).

Таблица 1 – Характеристики торкрет-масс, рекомендуемых для вдувания в шлаковую ванну по ходу раздувки

Тип торкрет-массы	Содержание, %				Влажность, %
	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	C	
Порошкообразный бой периклазоуглеродистых огнеупоров (П.Б.)	85,5	12,0	4,0	2,0	0,3
Необожженный доломит (С.Д.)	17,5	33,2	2,0	н.с.	0,2
Обожженный доломит (О.Д.)	28,9	49,7	4,8	н.с.	0,1
Порошок магнезитовый (ПМК)	80,0	4,0	2,0	н.с.	0,2

При этом подачу торкрет-массы осуществляют на протяжении 15-75% общего времени раздувки шлака. После прекращения подачи торкрет-массы раздувку шлаковой ванны продолжают до полного прекращения выноса капель шлака за горловину конвертера. По окончании операции и самопроизвольного отделения шлаковой настывки с поверхности ствола фурмы фурму выводят из конвертера через фурменное окно.

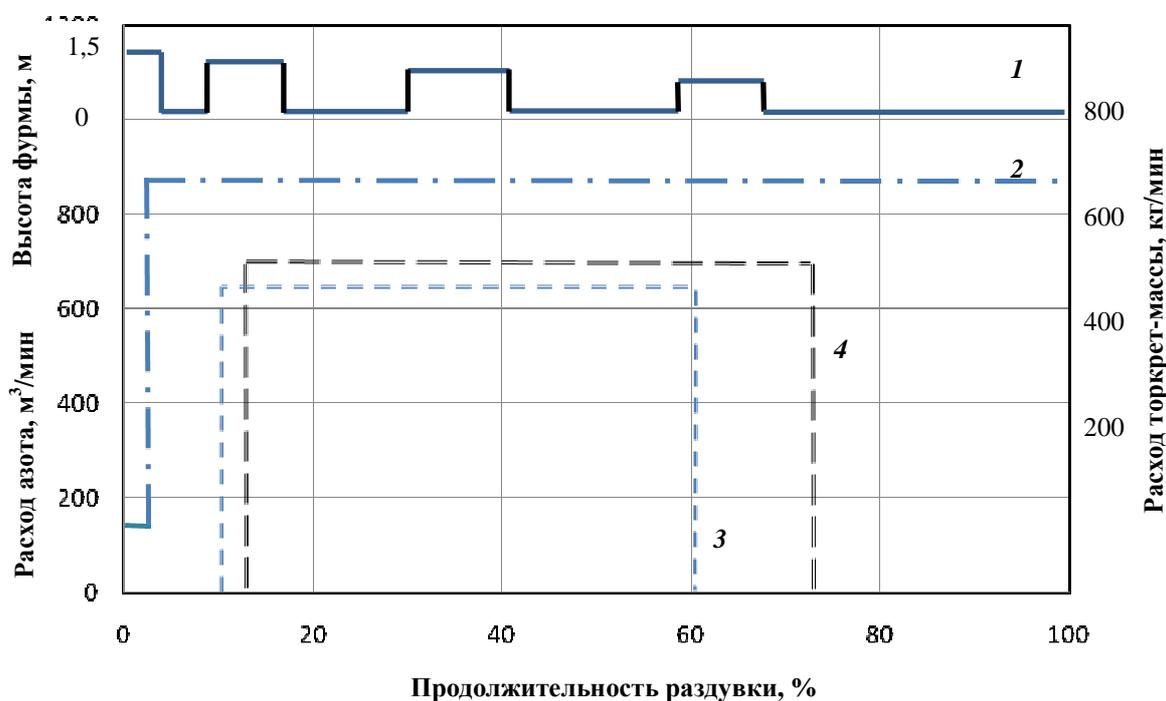
Следует особо отметить, что в случае осуществления конвертерной плавки по малошлаковой технологии (с использованием в шихте предварительно рафинированного малокремнистого и малосернистого чугуна (0,3%Si и 0,01%S)) необходимый расход торкрет-массы для корректировки химического состава шлаковой ванны и продолжительность операции раздувки существенно сокращаются (табл.2).

Таблица 2 – Рекомендуемый расход торкрет-массы для газопорошковой раздувки шлаковой ванны с использованием гарнисажной фурмы (рис.3)

Штатная технология конвертерной плавки (21 т конечного шлака)	Расход / продолжительность вдувания торкрет-массы					
	Для повышения содержания (MgO) с 8 до 10%			Для повышения содержания (MgO) с 8 до 12%		
	3-3,5 мин			3,5-4,0 мин		
Тип торкрет-массы	Общий, кг	кг/мин	кг/(мин·т)	Общий, кг	кг/мин	кг/(мин·т)
С.Д.*	2400	600	2,40	4800	1200	4,80
О.Д.	1450	360	1,44	2900	720	2,88
П.Б.	510	130	0,52	1020	255	1,02
ПМК	525	133	0,53	1050	263	1,05
Малошлаковая технология (12,5 т конечного шлака)	Для повышения содержания (MgO) с 8 до 10%			Для повышения содержания (MgO) с 8 до 12%		
	1,8-2,5 мин			2,3-2,8 мин		
	Тип торкрет-массы	Общий, кг	кг/мин	кг/(мин·т)	Общий, кг	кг/мин
С.Д.*	1420	570	2,28	2860	1144	4,58
О.Д.	860	344	1,38	1720	688	2,75
П.Б.	310	124	0,49	610	244	0,97
ПМК	320	128	0,51	630	252	1,0

\* обозначения в табл.1

Рекомендуемые технологические режимы и расход торкрет-массы для осуществления газопорошковой раздувки шлаковой ванны с использованием разработанного наконечника гарнисажной фурмы (рис.3) приведены на рис.4 и в табл.2.



- 1 – расположение торцевого наконечника фурмы по отношению к шлаковой ванне;  
2 – расход азота через сопла Лавалья торцевого наконечника

Рисунок 4 – Режим раздувки шлаковой ванны газопорошковыми струями с вдуванием торкрет-массы на основе необожженного (4) и обожженного (3) доломита непосредственно в шлаковую ванну

**Выводы.** В целом, разработанные конструкции наконечников гарнисажных газоохлаждаемых фурм (рис.2, 3) и предложенные режимы ведения плавки и раздувки конечного шлака на футеровку конвертера [5] способны обеспечить:

- формирование слоя шлакового гарнисажа с повышенным содержанием оксида магния (10-12% MgO) на всей поверхности футеровки при сокращении расхода и потерь магниезальных добавок;
- исключение расхода воды на охлаждение фурмы;
- повышение стойкости гарнисажного слоя и длительности кампании конвертера;
- безопасные условия труда персонала конвертерного отделения.

Предложены конструкции наконечников двухъярусной гарнисажной газоохлаждаемой фурмы, предназначенной для раздувки шлаковой ванны газовыми либо газопорошковыми струями, обеспечения безопасных условий труда, снижения удельных затрат на производство стали и повышения эффективности операции ошлакования футеровки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сигарев Е.Н. Особенности гидрогазодинамики раздувки двухъярусной фурмой / Е.Н.Сигарев, А.Г.Чернятевич, Н.Н.Недбайло // Збірник наукових праць Дніпродзержинського технічного університету (технічні науки) / Дніпродзержинськ: ДДТУ. – 2013. – Вип. 3 (23). – С.13-21.
2. Сигарев Е.Н. Теоретические и прикладные основы ресурсо- и энергосберегающих

- технологических маршрутов конвертерного производства железоуглеродистого полупродукта: автореф. дисс. на соискание науч. степени докт. техн. наук: 05.16.02 „Металлургия черных и цветных металлов и специальных сплавов” / Е.Н.Сигарев. – Днепропетровск, 2013. – 531с.
3. Этапы совершенствования конструкций гарнисажных фурм и технологий ошлакования футеровки 160-т конвертеров ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» / Чернятевич А.Г., Сигарев Е.Н., Чернятевич И.В. [и др.] // ОАО Черметинформация. – Бюллетень „Черная металлургия”. – 2012. – №6. – С.55-64.
  4. Пат. 74235 Україна, С21С 5/48. Фурма для нанесення шлакового гарнісажу на футерівку конвертера / Чернятевич А.Г., Сігарьов Є.М., Чубін К.І., Мальцев В.Г.; заявник і патентовласник Дніпродзерж. держ. техн. унів-т. – № и 201203221; заявл. 19.03.12; опубл. 25.10.12, Бюл. №20.
  5. Пат. 103410 Україна, С21С 5/48. Спосіб нанесення шлакового гарнісажу на футерівку конвертера та фурма для його здійснення / Чернятевич А.Г., Сігарьов Є.М., Чубін К.І., Чубіна О.А.; заявник і патентовласник Дніпродзерж. держ. техн. унів-т. – № а 201203224; заявл. 19.03.12; опубл. 10.10.13, Бюл. №19.

*Поступила в редколлегию 16.06.2014.*

УДК 669.182.001.57

ОГУРЦОВ А.П., д.т.н., професор  
ДУШКЕВИЧ Д.І.\*, провідний інженер  
КОВАЛЬ А.П., аспірантка

Дніпродзержинський державний технічний університет  
\*ПАТ „АрселорМіттал Кривий Ріг”

### **ПУСК МАШИНИ БЕЗПЕРЕВНОГО РОЗЛИВУ НА ПАТ „АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ”**

**Вступ.** Розливка сталі в сталеплавильному виробництві відіграє суттєву роль. Саме вона багато в чому визначає якість готової металопродукції. Промислове використання в ХХ столітті безперервного розливання сталі стало революцією в металургії, так як така технологія дозволяє довести вихід придатних заготовок практично до 99,9% проти 92% при використанні класичної технології розливки сталі у виливниці при суттєвій економії матеріальних і енергетичних ресурсів, покращення умов праці. Тепер про місце тієї чи іншої держави в світовому рейтингу можна впевнено судити по долі металу, що розлитий на машинах безперервної розливки заготовок (МБЛЗ). Так, наприклад, в Японії цей показник вже досяг 97%, в Україні ж він поки що не перевищив рівня 15%.

Тепер таке положення в металургії України почало змінюватися в кращу сторону. Згідно з перспективними планами передбачається на МБЛЗ розливати до 85% усієї сталі, що в значній мірі забезпечить підвищення виходу придатного металу [1].

У жовтні 2011 року на ПАТ „АрселорМіттал Кривий Ріг” була введена в експлуатацію шестиструмова машина безперервного розливу сталі, після розливу сталі на якій отримують квадратну заготовку перерізом 150×150 мм. У лінії МБЛЗ використовується також установка „піч-ківш” (УПК) фірми „Siemens VAI”, яка передбачає наступні види позапічної обробки сталі: продувку металу інертним газом (аргоном, азотом) через донні продувальні блоки сталерозливного ковша для усереднення металу по хімічному складу і температурі, вилучення неметалевих включень; нагрів металу електричною дугою; проведення замірів температури, окисненості і відбір проб металу і шлаку; коригування окисненості і хімічного складу сталі шляхом введення шматкових феросп-