

Л. Р. Кочергина, С. В. Шевченко (✉), к. т. н. Б. А. Сарычев

ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат»,
г. Магнитогорск, Россия

УДК 669.162.221.2

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРОДУВОЧНЫХ ФУРМ ДЛЯ ДОННОЙ ПРОДУВКИ МЕТАЛЛА В СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШАХ ККЦ НА УВЕЛИЧЕНИЕ ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Приведена информация о разных конструктивных типах огнеупорных изделий, используемых для продувки металла в сталеразливочных ковшах, и ключевых факторах, оказывающих влияние на эффективность. Оценено влияние базовых огнеупорных материалов и качества их изготовления на технологическую работоспособность рассматриваемых изделий. По результатам постоянного мониторинга эффективности продуваемости металла определены конструкционные типы аргонопроводящих узлов, наиболее соответствующие требованиям технологического процесса очистки стали в сталеразливочных ковшах ККЦ ПАО ММК.

Ключевые слова: *внепечная обработка металла, сталеразливочный ковш, донная продувка аргоном, термостойкая керамика, щели и капиллярные отверстия, продувочные каналы, обратный клапан.*

Внепечная обработка, или вторичная металлургия, — это процесс производства, предназначенный для повышения качества стали путем введения добавок при получении необходимого химического состава и удаления неметаллических включений для достижения высокой чистоты металла. В настоящее время для этих целей используют газовое перемешивание металла в сталеразливочном ковше при помощи донной продувки. Принцип продувки основан на насыщении объема металла в сталеразливочном ковше большим количеством мелких газовых пузырьков. Продувкой решаются две основные задачи — гомогенизация и очистка металла, поэтому продувочная система является ключевым функциональным элементом для осуществления этой технологии. В качестве газа для продувки используют, как правило, аргон, который не участвует в химических реакциях и не растворяется в жидкой стали. В чистом аргоне (99,99 %) не содержится примесей водорода, азота и кислорода. Продувка металла инертным газом позволяет решить многие технологические задачи:

– повышение чистоты стали по неметаллическим включениям;

– увеличение производительности сталеплавильного агрегата за счет повышения скорости химических процессов при внепечной обработке стали;

– осуществление тонкой доводки стали по химическому составу;

– подготовка плавки к последующему процессу разлива путем регулирования температуры разлива в сторону понижения.

Для осуществления поставленных потребителем задач производители разрабатывают и испытывают разные конструкционные виды продувочных фурм. На сегодняшний день в кислородно-конвертерном цехе (ККЦ) ПАО ММК используют продувочную фурму системы TWINS с комбинированной структурой газохода и эффективностью донной продувки 89,7 % (2019 г.). Для достижения данных показателей в последние десять лет в условиях ККЦ ПАО ММК производили интенсивные испытания разных типов и конструкций аргоновых продувочных блоков.

ПРОДУВОЧНАЯ ФУРМА СО ЩЕЛЕВОЙ КОНСТРУКЦИЕЙ ГАЗОХОДА

На рис. 1 показана продувочная фурма со щелевой конструкцией газохода (внутренняя часть блока). Для изготовления таких фурм используют высокочистые, высокоплотные и высокопрочные корундовые и корундохромитовые материалы на основе низкоцементных и ультранизкоцементных бетонов. Технология производства продувочных фурм предусматривает обжиг



С. В. Шевченко
E-mail: shevchenko.sv@mmk.ru

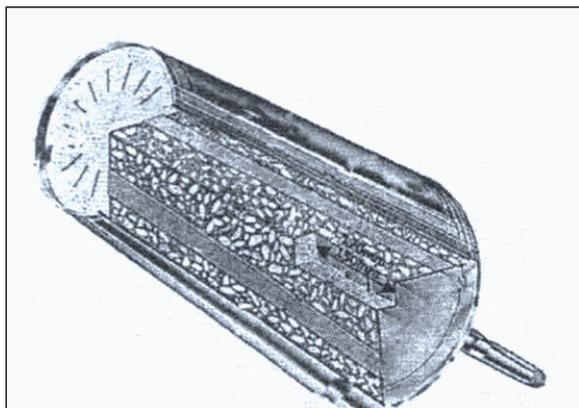


Рис. 1. Продувочная фурма со щелевой конструкцией газохода

при высокой температуре для создания стабильной структуры с хорошей пропускаемостью потока газа, высоким продувочным коэффициентом, хорошей эрозионной и коррозионной стойкостью, продолжительным сроком службы. Данный вид фурм использовали в условиях ПАО ММК серийно до 2013 г. Эффективность донной продувки через фурмы со щелевой конструкцией составляла 81,9 %.

ПРОДУВОЧНАЯ ФУРМА С КОМБИНИРОВАННОЙ СТРУКТУРОЙ ГАЗОХОДА: ЩЕЛИ И КАПИЛЛЯРНЫЕ ОТВЕРСТИЯ (КАНАЛЫ) В КЕРАМИЧЕСКИХ СТЕРЖНЯХ

В качестве материала для изготовления фурмы с комбинированной структурой газохода (рис. 2) применяют высокоогнеупорную и термостойкую керамику с низкой смачиваемостью и малым проникновением в продувочные каналы жидкой стали и шлака, что способствует снижению времени очистки кислородом после разливки, увеличению продувочного коэффициента и стойкости продувочной фурмы.

При данной конструкции продувочной фурмы проникнуть жидкой стали внутрь каналов намного сложнее, так как дополнительное усилие при проникновении жидкости внутрь круглого отверстия должно быть в 2 раза больше, чем при проникновении жидкости внутрь щели.

ДОННАЯ ПРОДУВОЧНАЯ ФУРМА КОНСТРУКЦИИ TWINS (ДВОЙНАЯ)

Донная продувочная фурма TWINS (рис. 3) разработана на основе опыта производства двух продувочных систем, описанных выше и предназначена

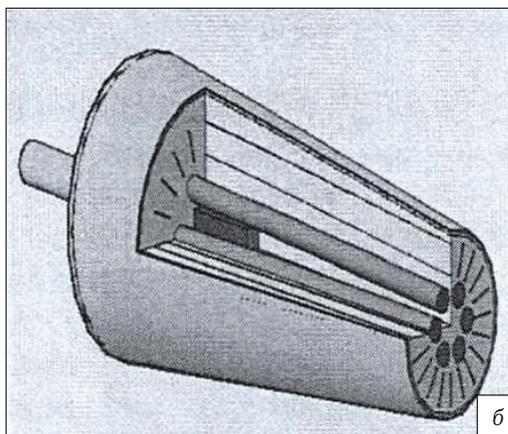
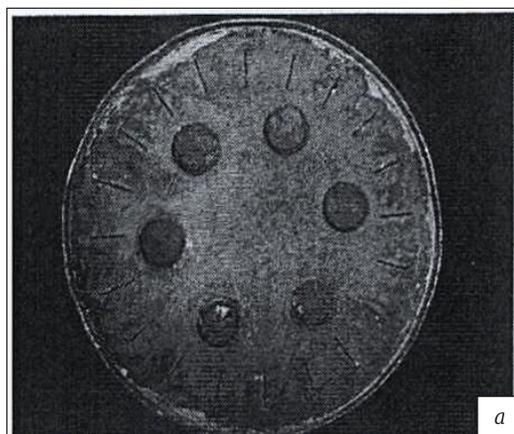


Рис. 2. Продувочная фурма с комбинированной структурой газохода (а, б)

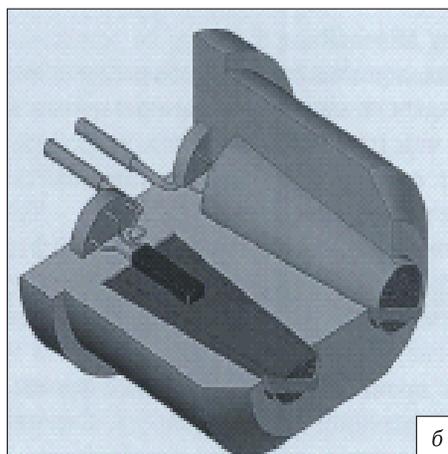
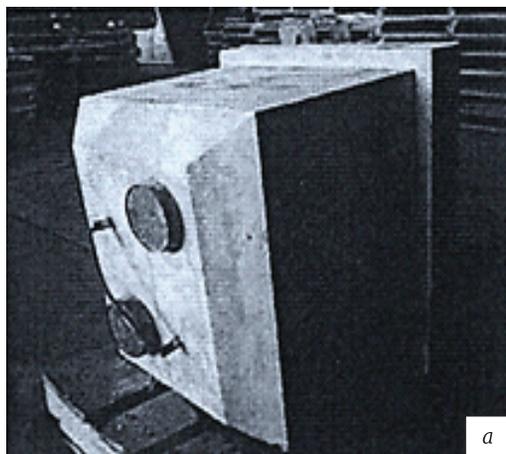


Рис. 3. Донная продувочная фурма TWINS (а, б)

для установки в ковши большой вместимости для увеличения объема продуваемого газа, когда работы одной продувочной фурмы недостаточно.

**КРУПНОГАБАРИТНЫЕ БЛОКИ
ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КОВШАХ
БОЛЬШОГО ОБЪЕМА — ГИБРИДНЫЕ
ПРОДУВОЧНЫЕ ФУРМЫ**

Гибридная фурма состоит из трех отдельно изготавливаемых частей (рис. 4). В центральной части конструкции находится пористая вставка пирамидальной формы с ненаправленной пористостью. В нижней части расположено устройство (обратный клапан) конической формы, предотвращающее проход металла и инфильтрацию шлака и металла. Основное тело продувочной фурмы состоит из огнеупорного бетона.

Пористая часть и переход через предохранительное устройство изготавливают из крупнозернистого высокоглиноземистого материала, который прессуют и далее обжигают при высоких температурах. Бетон производят из высокоглиноземистого материала с добавкой шпинели с целью обеспечения оптимальной коррозионной стойкости. Прорези между пористой и бетонной частями обеспечивают идеальные рабочие характеристики при высоких расходах газа. Прорези расположены только вокруг пористой части, в переходе через предохранительное устройство их нет. Весь подаваемый газ должен проходить через предохранительное устройство, что обеспечивает более надежную защиту, чем в стандартных щелевых пробках. Продувочные фурмы имеют металлический кожух, который состоит из обечайки толщиной 1 мм и донной плиты толщиной 10 мм, изготавливаемых из нержавеющей стали. Данная конструкция фурм может обеспечивать высокую степень продувки и оптимальные эксплуатационные характеристики как при низких, так и при высоких параметрах расхода газа.

Основные параметры оценки донной продувки — эффективность и время работы продувочных фурм — являются расчетными и зависят от

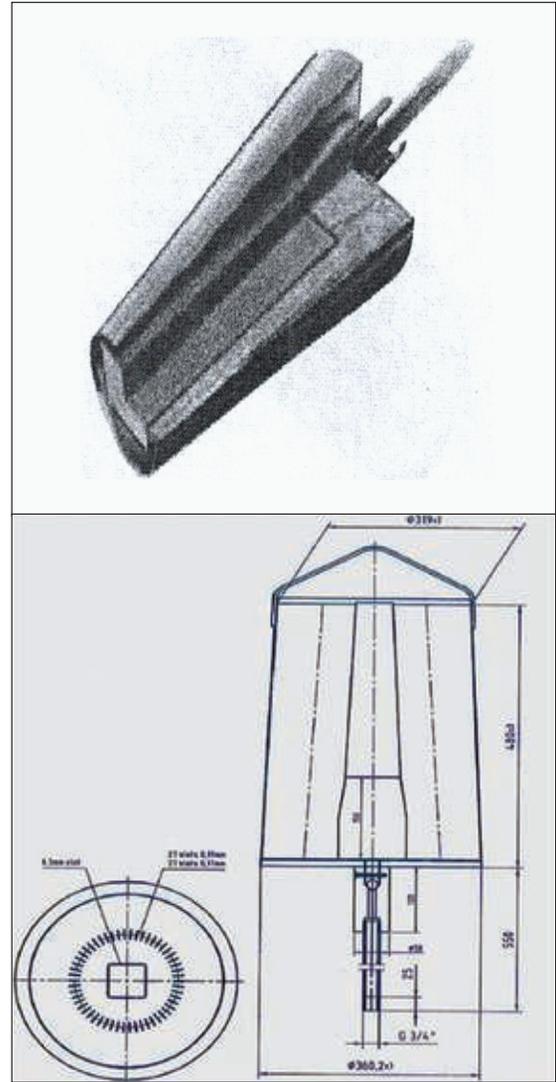


Рис. 4. Гибридная фурма в поперечном разрезе (а, б)

Динамика эффективности донной продувки и технологические параметры эксплуатации сталеразливочных ковшей в КЦ ПАО ММК

Показатель	2020 г.	2019 г.	2018 г.	2017 г.	2016 г.	2015 г.
Эффективность донной продувки (продуваемость плавков без замечаний), %	93,1	89,7	87,3	93,3	85,6	92,4
Средняя выдержка металла в сталеразливочном ковше за отчетный период (система MES КЦ «Продувка донных аргоновых пробок»), мин	148,0	150,3	148,6	143,3	142,1	143,8
Средняя стойкость футеровки дна до замены на горячем ремонте, плавки	44,7	46,3	44,5	45,1	42,4	42,0
Среднее время продувки одной плавки, мин/плавку	65,1	63,4	62,3	56,6	56,9	52,9
Общее время продуваемости пробок (без учета замечаний), мин	2711	2767	2628	2388	2307	2150
Необходимое время работы пробок до замены, мин	2906	2933	2771	2549	2409	2221
Фактическое время продуваемости пробок (с учетом замечаний), мин	2521	2480	2290	2228	1976	1991
Гарантированный ресурс пробки, мин	2500	2500	2500	2500	2200	2200

среднего времени обработки одной плавки на агрегатах доводки стали, стойкости футеровки рабочего дна сталеразливочного ковша, а также количества замечаний, отнесенных на слабую донную продувку плавки, либо на ее отсутствие.

Опыт эксплуатации донных продувочных систем разных конструкций, а также анализ параметров эксплуатации сталеразливочных ковшей показал, что в условиях ККЦ ПАО ММК эффективность донной продувки зависит как от качества продувочных фурм, так и от условий использования и обслуживания. К эксплуатационным условиям, оказывающим негативное влияние на рабочий ресурс продувочной пробки, относятся:

- увеличение длительности продувки плавки на агрегатах внепечной обработки стали и выдержки металла в сталеразливочном ковше;

- отсутствие или неудовлетворительное качество проведения тестирования пробок после разливки металла;

- нестабильность эксплуатации сталеразливочных ковшей.

С каждым годом идет повышение требований к продувочным фурмам исходя из условий

эксплуатации как по среднему времени продувки одной плавки, так и по ее стойкости (см. таблицу).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учитывая требования со стороны потребителей и жесткую конкуренцию на рынке металла, ПАО ММК приходится разрабатывать технологии, обеспечивающие получение марок стали, чистота состава которых играет первостепенную роль. В связи с этим приходится ужесточать эксплуатацию сталеразливочных ковшей с минимизацией замечаний по продуваемости пробок. Для этих целей ведется постоянный поиск новых конструктивных решений продувочных фурм совместно с различными поставщиками и испытываются новые виды огнеупорных материалов, используемых в аргоновых блоках. На текущий момент в условиях ККЦ ПАО ММК серийно применяются донные продувочные фурмы конструкции TWINS (двойные), показавшие наибольшую эффективность, и параллельно с этим совместно с компаниями RHI, PRCO, Vesuvius проводятся испытания гибридной продувочной пробки и системы быстрой замены.

Библиографический список

1. **Очагова, И. Г.** Мировая практика производства и применения огнеупоров в сталеплавильном производстве / И. Г. Очагова // Новые огнеупоры. — 2000. — № 4. — С. 117–119.

2. **Шварц, К.** Изучение проникновения жидкого металла в продувочные пробки / К. Шварц, О. Краус // Огнеупоры и техническая керамика. — 2013. — № 4/5.

3. **Бурмистрова, Е. В.** Огнеупоры для продувки металла аргоном в сталеразливочных ковшах ОАО «ММК» / Е. В. Бурмистрова, Р. И. Абдрахманов // Новые огнеупоры. — 2014. — № 7. — С. 5–9. ■

Получено 19.10.2021

© Л. Р. Кочергина, С. В. Шевченко,
Б. А. Сарычев, 2022 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

ЛИТМАШ

ЛИТМАШ. РОССИЯ-2022

Международная выставка машин, оборудования, технологий и продукции металлургической промышленности

ОРГАНИЗАТОРЫ:
«МЕССЕ ДЮССЕЛЬДОРФ ГМБХ» (ГЕРМАНИЯ)
ООО «МЕССЕ ДЮССЕЛЬДОРФ МОСКВА» (РОССИЯ)
ООО «МЕТАЛЛ-ЭКСПО» (РОССИЯ)

ЭКСПОЦЕНТР
МОСКВА

www.expoctr.ru

21–23 июня 2022 г.