

УДК 532.525.6

Гичёв Ю.А. /д.т.н./, Перцевой В.А. /к.т.н./  
НМетАУ

Наука

## Тепловые и газодинамические режимы эксплуатации устройств струйной отсечки шлака

*Представлено обобщение экспериментальных и теоретических исследований тепловых, газодинамических и эксплуатационных режимов функционирования системы газодинамической отсечки шлака. Применительно к разработанным устройствам газодинамической отсечки приведены результаты исследования запирающих свойств газовой струи и диссипации ее энергии в процессе отсечки. Ил. 5. Табл. 1. Библиогр.: 5 назв.*

**Ключевые слова:** газодинамическая отсечка шлака, диапазон характеристик струи, режимы эксплуатации, время срабатывания системы, диссипация энергии.

*Experimental and theoretical investigations of thermal, gas-dynamic and operating conditions of gas-dynamic slag cut-off system operation are generalized. Results of investigation of gas jet locking properties and its energy dissipation in cut-off process as applied to developed devices of gas-dynamic cut-off are given.*

**Keywords:** gas-dynamic slag cut-off, range of jet characteristics, operation conditions, system operating time, dissipation of energy

Эффективная отсечка шлака от металла при выпуске плавки из конвертера способствует снижению энерго- и материалоемкости производства стали и повышает ее качество. В настоящее время существует ряд способов отсечки шлака, среди которых преимущество имеет газодинамический способ отсечки благодаря быстродействию, отсутствию быстроизнашивающихся элементов, а также компактности оборудования. Эксплуатационные характеристики известных способов газодинамической отсечки базируются преимущественно на экспериментальных исследованиях. Теоретические основы применения газовой струи

для отсечки шлакового расплава практически отсутствуют.

В работе [1] проведено исследование влияния геометрических и энергетических характеристик импактной газовой струи и процесса ее теплообмена с расплавом шлака, а также режимов взаимодействия струи с потоком жидкости на эффективное функционирование системы газодинамической отсечки шлака.

На основании расчетных и экспериментальных исследований, а также анализа конструктивных и эксплуатационных характеристик известных устройств отделения стали от шлака, разработаны технические решения и технология отделения стали от шлака. Приоритетными критериями при разработке системы

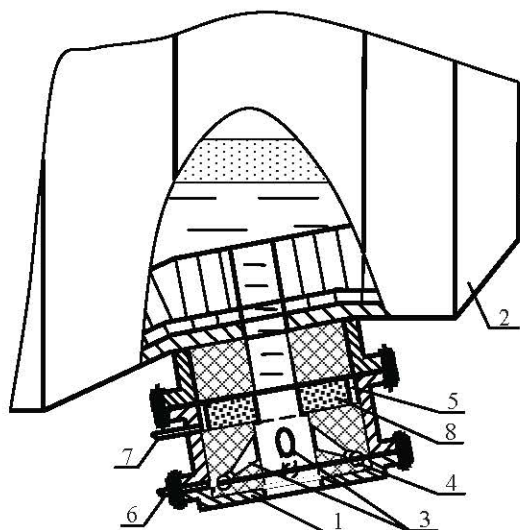


Рис. 1. Размещение устройства для отсечки шлака в стале-выпускном отверстии конвертера: 1 - футерованный насадок; 2 - конвертер; 3 - сопла; 4, 5 - коллекторы газа; 6, 7 - газо-подводящие каналы; 8 - пористая вставка

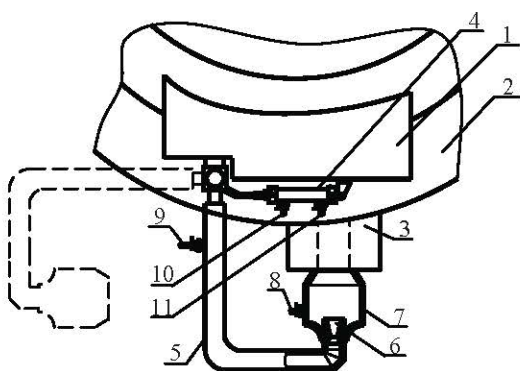


Рис. 2. Размещение устройства для отсечки шлака на поворотном рычаге: 1 - опорный блок; 2 - корпус конвертера; 3 - летка; 4 - пневмоцилиндр; 5 - рычаг; 6 - сопло; 7 - насадок; 8, 9, 10, 11 - подвод нейтрального газа

газодинамической отсечки шлака являлись:

- надежная работа устройства при изменении геометрии сталевыпускного отверстия в процессе эксплуатации;
- защита соплового аппарата от термического воздействия расплавов стали и шлака;
- максимальная эффективность использования энергии струи газа при минимальных значениях ее характеристик (скорость, давление).

Авторами разработан ряд технических решений для газодинамической отсечки шлака [2]. Один из вариантов (рис. 1) предполагает размещение устройства непосредственно в летке конвертера.

Для этого летка оборудована футерованным насадком, который жестко прикреплен к торцу летки с возможностью периодической замены устройства, например, в период перефутеровки конвертера. Сопла для подачи запирающего газа выполнены наклонными к оси сталевыпускного отверстия и равномерно размещены по периметру сечения сталевыпускного отверстия.

В период появления шлака во входном торце сталевыпускного отверстия включается система подачи

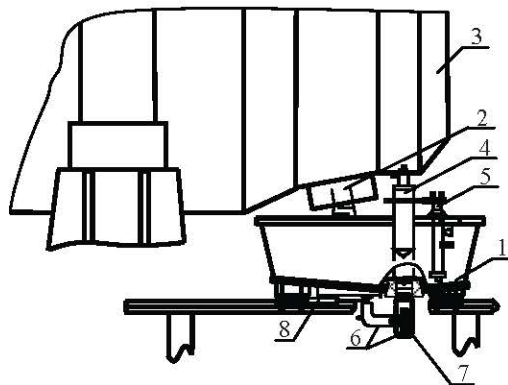


Рис. 3. Устройство для отсечки шлака в комбинации с разделительным ковшем: 1 - промежуточная емкость; 2 - стале-выпускной канал; 3 - конвертер; 4 - заглушка; 5 - привод заглушки; 6 - отсечной узел; 7 - сопловой аппарат; 8 - привод отсечного узла

запирающего газа, что обеспечивает необходимое для запирающего шлака давление в полости сталевыпускного отверстия конвертера.

На рис. 2 устройство для отсечки шлака размещено на поворотном рычаге, оборудованном приводом для поворота устройства, который смонтирован на корпусе кожуха конвертера. В момент появления шлака осуществляется поворот рычага и стыковка насадки с наружным торцом сталевыпускного отверстия, что, после подачи газа через сопло, приводит к запирающему шлака внутри конвертера.

На рис. 3 приведено устройство для отсечки шлака, работающее в комбинации с разделительным ковшем. Сталь вместе со шлаком выпускается в промежуточную емкость, где происходит гравитационное расслоение расплава на сталь и шлак, а затем выпуск стали [2]. В момент появления шлака в выпускном отверстии разделительного ковша включается сопловой аппарат, который подводится к выпускному отверстию скользящим приводом. Привод обеспечивает стыковку устройства с выпускным отверстием в момент появления шлака и расстыковку устройства после заглизирования отверстия стопором.

Анализ литературных источников показывает, что в известных устройствах газодинамической отсечки шлака диапазон эффективных тепловых и газодинамических режимов эксплуатации определялся исключительно экспериментальным путем. При таком подходе отсутствует теоретическое обоснование:

- геометрических характеристик газовой струи, необходимых для стабилизации давления газа, истекающего из сопла;
- изменения запирающих свойств газовой струи в процессе отсечки;
- влияния теплообмена между газом и расплавом шлака, т.е. нагрев холодной газовой струи при взаимодействии ее со шлаком, на изменение газодинамических параметров струи и надежность эксплуатации устройства;
- влияния характеристик газовой струи на время срабатывания системы отсечки шлака.

По результатам комплекса выполненных авторами исследований [1] режим запирающего шлака в летке



Таблица. Эксплуатационные газодинамические и геометрические характеристики струи в устройствах газодинамической отсечки

Диаметр летки конвертера ( $D_{конв}$ ), м	Диаметр выходного сечения сопла ( $d_0$ ), м	Давление газа перед соплом ( $P_c$ ), МПа, при углах натекания струи ( $\varphi$ )		
		$\varphi = 0^\circ$	$\varphi = 30^\circ$	$\varphi = 45^\circ$
1	2	3	4	5
0,175	0,08	0,82	0,59	0,50
	0,07	0,98	0,62	0,63
	0,06	1,24	0,67	1,02
0,180	0,08	0,86	0,61	0,52
	0,07	1,01	0,64	0,68
	0,06	1,29	0,69	1,08
0,200	0,08	0,97	0,64	0,62
	0,07	1,19	0,67	0,94
	0,06	1,58	0,73	1,52
0,250	0,08	1,37	0,70	0,64
	0,07	1,86	0,76	0,96
	0,06	2,65	0,85	1,83
0,300	0,08	2,05	0,78	0,92
	0,07	2,89	0,87	1,57
	0,06	4,39	1,07	2,84

конвертера обеспечивается при характеристиках сопла и струи, представленных в таблице.

Изменение энергии газовой струи в процессе ее натекания на летку конвертера выполнено в соответствии с характеристиками, представленными в таблице, с использованием экспериментальных данных, полученных авторами.

На основании законов сохранения и баланса энергии, распределение энергии в единице массы газа описывается уравнениями:

- кинетическая энергия струи

$$E_k = \frac{u_0^2}{2} \cdot G_z, \quad E_k = \frac{u_m^2}{2} \cdot G_z \quad (1, 2)$$

- потенциальная энергия струи

$$E_n = \frac{P_{cm0}}{\rho_0} \cdot G_z, \quad E_n = \frac{P_{cm}}{\rho} \cdot G_z, \quad (3, 4)$$

где  $u_0$ ,  $u_m$  - скорость истечения струи из сопла и скорость струи в тупиковом канале соответственно, м/с;  $P_{cm0}$ ,  $P_{cm}$  - давление газа на срезе сопла и давление газа на внутреннюю поверхность канала соответственно, Па;  $\rho_0$ ,  $\rho$  - плотность газа на срезе сопла и плотность газа в канале соответственно, кг/м<sup>3</sup>;  $G_z$  - массовый расход газа через сопло, кг/с.

Результаты расчета диссипации энергии представлены на рис. 4, 5, из которых следует, что максимум диссипации энергии наблюдается в свободной струе газа и составляет 70÷80 % энергии струи на срезе сопла. В объеме тупикового канала диссипация энергии импактной струи не превышает 40 % от энергии струи, поступающей в тупиковый канал.

Наряду с энергетическими и геометрическими характеристиками газовой струи, одним из основных факторов, влияющих на эффективность работы системы газодинамической отсечки шлака, является

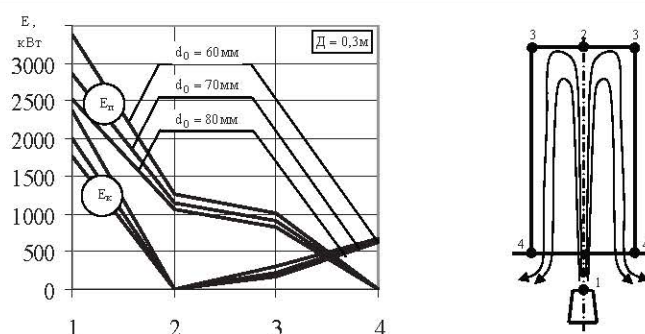


Рис. 4. Изменение энергии газовой струи при фронтальном натекании на тупиковый канал: 1...4 на оси абсцисс графиков-точки расчета энергии газовой струи

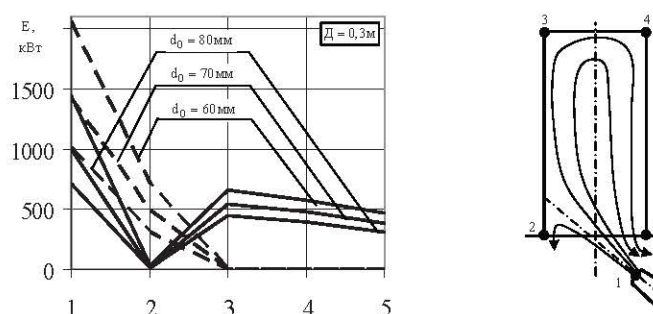


Рис. 5. Изменение энергии газовой струи при натекании на тупиковый канал под углом  $\varphi = 45^\circ$ : 1...5 - на оси абсцисс графиков-точки расчета энергии газовой струи; — — — - кинетическая энергия струи; — — — - потенциальная энергия струи

время ее срабатывания, т.е. есть время, проходящее от момента появления сигнала для включения системы до момента записывания шлака в летку конвертера.

Устройство газодинамической отсечки шлака помимо соплового аппарата содержит также пневмосистему, которая питает привод соплового аппарата, служащего для регулирования расстояния между со-

плом и сталевыпускным отверстием летки конвертера. Таким образом, время срабатывания системы отсечки шлака состоит из времени, необходимого для установки соплового аппарата в рабочее положение ( $\tau_{nc}$ ), и времени запираания газовой струей расплава шлака в летке конвертера ( $\tau_z$ ).

$$\tau_{зан} = \tau_{nc} + \tau_z, \quad (5)$$

В соответствии с расчетами, при характеристиках устройства, приведенных в таблице, время установки соплового аппарата ( $\tau_{nc}$ ) составляет до 0,9 с, а время запираания шлака газовой струей в летке ( $\tau_z$ ) для конвертеров емкостью 50 ÷ 350 т составляет 0,1 ÷ 0,6 с.

Таким образом, время срабатывания системы отсечки шлака находится в пределах 1,0 ÷ 1,5 с.

#### Библиографический список

1. Гичёв Ю.А., Перцевой В.А. Моделирование газодинамической отсечки шлака, обеспечивающей энерго- и ресурсосбережение при выпуске плавки // *Металлург. и горноруд. пром-сть*. - 2007. - № 4. - С. 84-87.
2. Пат. 37729 Україна, МПК (2006) С 21 В 7/14, F 27 D 3/00. Пристрій для випуску металу з конвертера і відсічення шлаку / Гічов Ю.О., Бичков С.В., Малик О.О., Жаворонков Ю.І., Перцевий В.О.; власник Національна металургійна академія України.- № у 2008 07571; заявл. 02.06.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл. № 23.

Поступила 11.11.2009

