

УДК 669.162.252.468

В. А. КРАВЕЦЬ, А. А. ЛОЦМАН

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

**РАСЧЁТ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА СНИЖЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТАЛЛА В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОДАЧИ ГАЗООБРАЗНОГО
АЗОТА ПРИ НАПОЛНЕНИИ КОВША РАСПЛАВОМ ЧУГУНА**

Выполнен расчёт и проведены экспериментальные исследования снижения температуры расплава чугуна при обдуве струи металла газообразным азотом с целью подавления выбросов бурого дыма. Установлено, что фактическое снижение температуры не превышает 1 °С, что не оказывает влияния на технологический процесс.

бурый дым, газообразный азот, чугун**ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ И ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Выпуск чугуна из доменной печи и переливы чугуна в миксерных отделениях сопровождаются выбросом в атмосферу значительного количества пыли, состоящей из двух основных компонентов: на 70 % из мелкодисперсного бурого дыма и на 30 % из крупнодисперсной графитной пыли. Литейные дворы доменных печей и миксерные отделения сталеплавильных цехов являются крупными источниками загрязнения атмосферы. На многих заводах эта проблема не решена, а на других заводах для её решения применяются системы аспирации с пылеочисткой в электрофильтрах или рукавных фильтрах. Достоинством таких систем является высокая эффективность – выбросы снижаются на 98–99 %. Недостатком таких систем являются высокие капитальные и эксплуатационные затраты. Поэтому актуальной является проблема разработки технологических приёмов, позволяющих снизить выбросы без использования фильтров. Одним из таких приёмов является пылеподавление газообразным азотом, обеспечивающее снижение выбросов бурого дыма на 80–90 % [1]. Однако возможным недостатком этого метода является снижение температуры чугуна [2].

Оценке величины снижения температуры и посвящена данная работа.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для оценки снижения температуры при обдуве падающей струи чугуна азотом были выполнены расчёты. Схема расчёта приведена на рисунке.

Изменение температуры чугуна определяли по формуле:

$$\Delta T_{\text{ч}} = \frac{Q}{m_{\text{ч}} \cdot C}, \quad (1)$$

где Q – количество тепла, отведённого от чугуна в результате обдува его азотом, Дж;
 $m_{\text{ч}}$ – масса переливаемого чугуна, кг;
 C – теплоёмкость расплава, Дж/(кг·К).

Количество отведённого тепла (Q) можно определить следующим образом:

$$Q = 3\,600 \times \pi \times D \times H \times \tau \times \alpha (T - T_c), \quad (2)$$

где D – диаметр струи металла, м;
 H – высота падения струи, м;
 τ – время слива чугуна, ч;

© В. А. Кравец, А. А. Лоцман, 2013

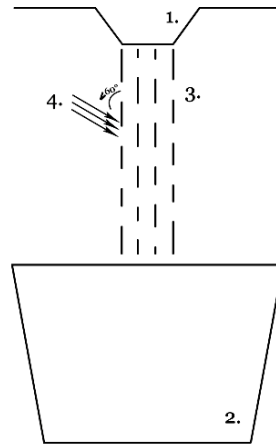


Рисунок – К расчёту снижения температуры расплава чугуна при обдуве струёй азота: 1 – носок миксера; 2 – ковш; 3 – струя металла; 4 – струя азота.

α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²К);
 T – температура чугуна, К;
 T_c – температура окружающей среды, К.

В свою очередь α равно:

$$\alpha = \frac{\lambda \times Nu}{D}, \quad (3)$$

где λ – коэффициент теплопроводности газа, Вт/(м·К);
 Nu – критерий Нуссельта.

Критерий для случая обдува цилиндра струёй газа под углом атаки 60° определяется по формуле [4]:

$$Nu = 0,8 \times C_m \times Re^m, \quad (4)$$

где C_m и m – коэффициенты, зависящие от числа Рейнольдса (Re):

$$Re = \frac{V \times D}{\vartheta}. \quad (5)$$

Подставив формулы 2–5 в формулу 1 получим следующее уравнение:

$$\Delta T_{\text{ч}} = \frac{3600 \times \pi \times D \times H \times \tau \times \frac{\lambda \times 0,8 \times C_m \left(\frac{V \times D}{\vartheta} \right)^m}{D(T - T_c)}}{m_{\text{ч}} \times C}, \quad (6)$$

где D – диаметр струи чугуна, м;
 V – скорость струи азота в месте встречи со струёй металла, м/с;
 ϑ – кинематическая вязкость газа, м²/с.

Рассчитаем падение температуры для условий отделения перелива чугуна (ОПЧ) кислородно-конвертерного цеха № 2 (ККЦ-2) Западно-Сибирского металлургического комбината (ЗСМК). В условиях ККЦ-2 ЗСМК диаметр струи при сливе из миксерного чугуновоза приблизительно равен 1 м, а осевая скорость струи азота в месте встречи со струёй чугуна составляет примерно 20 м/с. Учитывая, что $\vartheta = 1,5 \cdot 10^{-5}$ м²/с и подставляя эти численные значения в (5), найдём $Re = 1,3 \cdot 10^6$. При этом значении Re коэффициенты C_m и m соответственно равны 0,023 и 0,800, $Nu = 1440$.

Высота падения струи (H) металла изменяется в ходе слива чугуна от 6 до 2 м, составляя в среднем 4 м. Время наполнения ковша на ЗСМК составляет в среднем около 4 минут, т. е. 0,066 ч. Подставляя численные значения Nu , τ и H , и учитывая, что $m_{\text{ч}} = 250\,000$ кг; $\lambda = 4,5 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К); $C = 795$ Дж/(кг·К); $T = 1\,673$ °К; $T_c = 273$ °К, нашли:

$$\Delta T_{\text{ч}} = 0,6 \text{ }^{\circ}\text{К.}$$

Выполненный расчёт был проверен в реальных условиях перелива чугуна в ККЦ-2 ЗСМК. Температуру чугуна в чугуновозах миксерного типа измеряли в момент прибытия их в отделение перелива. Температуру чугуна в ковше измеряли сразу после слива. Сливы чугуна с подачей азота чередовались со сливами без подачи азота. Среднее снижение температуры при сливе без подачи азота составило 6,6 °С, а при подаче азота 7,4 °С. То есть, фактическое снижение температуры чугуна вследствие обдува его азотом составило 0,8 °С, что практически совпадает с расчётом.

Аналогичные исследования были выполнены в миксерном отделении ККЦ комбината «Азовсталь». Был выполнен расчёт падения температуры чугуна при сливе из миксера в ковш при следующих параметрах: высота падения струи металла $H = 7$ м, диаметр струи при сливе из миксерного чугуновоза $D = 0,5$ м. Подставляя данные в формулу (6), получим:

$$\Delta T_{\text{чАзовсталь}} = 1,4 \text{ }^{\circ}\text{К.}$$

В ходе экспериментальных исследований в миксерном отделении ККЦ комбината «Азовсталь» чередовали 3–4 слива чугуна из миксера в ковш с подачей азота с 1–2 контрольными сливами без пылеподавления. В период проведения исследований конвертерный цех работал без аварий, ритмично, и количество чугуна в миксере перед сливом менялось незначительно в пределах 1 700–1 800 т. Таким образом, температура сливаемого из миксера чугуна была примерно постоянной и не зависела от того, применялось пылеподавление азотом или нет.

После каждого перелива термопарой замерялась температура чугуна в ковше. Полученные результаты приведены в табл. Из таблицы видно, что разница в температуре чугуна при сливах с азотом и без азота составила в среднем 0,9 °С.

Таблица – Снижение температуры чугуна при сливе из миксера в ковш в ККЦ меткомбината «Азовсталь»

Технология слива чугуна	Количество опытов	Температура чугуна в ковше после слива, °С		
		Min	Max	Средняя
С подачей азота через 2 сопла диаметром 200 мм при расходе азота 8 000 м ³ /ч	22	1 300	1 340	1 325
Без подачи азота	23	1 300	1 355	1 325,9

ВЫВОДЫ

Таким образом, фактическое снижение температуры чугуна при переливе за счёт подачи азота как на «Азовстали», так и на ЗСМК, составило менее 1 °С, что является незначительной величиной, не оказывает влияния на технологический процесс и не может служить препятствием к применению способа пылеподавления азотом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кравец, В. А. Подавление бурого дыма при переливах чугуна [Текст] : Монография / В. А. Кравец. – Донецк : УкрНТЭК, 2002. – 186 с.
2. Кравец, В. А. Свойства взвешенных частиц, выделяющихся в атмосферу при переливах чугуна [Текст] / В. А. Кравец, А. А. Лоцман, Ю. В. Насанова // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури : збірник наукових праць. – Макіївка, 2011. – Випуск 2011-5(91) : Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 77–86.
3. Подавление бурого дыма на литейных дворах [Текст] / Э. Я. Лившиц, В. С. Гурьев, А. В. Сточний [и др.] // Тезисы докладов Всесоюзного н.-т. совещ. «Проблемы охраны природы при техническом перевооружении в чёрной металлургии» / Выставка достижений народного хозяйства СССР. – М. : ВДНХ СССР, 1987. – С.13.
4. Кутателадзе, С. С. Основы теории теплообмена [Текст] / С. С. Кутателадзе. – Новосибирск : Наука. Сибирское отделение, 1970. – 660 с.
5. Исаченко, В. П. Теплопередача [Текст] / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М. : ЭНЕРГОИЗДАТ, 1981. – 417 с.

Получено 09.10.2013

В. А. КРАВЕЦЬ, Г. О. ЛОЦМАН
РОЗРАХУНОК І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЗНИЖЕННЯ
ТЕМПЕРАТУРИ МЕТАЛУ В РЕЗУЛЬТАТІ ПОДАЧІ ГАЗОПОДІБНОГО АЗОТУ
ПРИ НАПОВНЕННІ КОВША РОЗПЛАВОМ ЧАВУНУ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Виконано розрахунок та проведено експериментальні дослідження зниження температури розплаву чавуну при охолодженні струменя металу газоподібним азотом з метою придушення викидів бурого диму. Встановлено, що фактичне зниження температури не перевищує 1 °С, що не впливає на технологічний процес.

бурий дим, газоподібний азот, чавун

VASILY KRAVETS, ANNA LOTSCHAN
CALCULATION AND EXPERIMENTAL VERIFICATION OF REDUCING THE
METAL TEMPERATURE BY SUPPLYING GASEOUS NITROGEN DURING THE
FILLING BUCKET MOLTEN IRON

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The calculation has been carried out and experimental studies of lowering the temperature of the molten iron in the metal stream blowing nitrogen gas to suppress the emissions of brown smoke have been done. It has been found that the actual reduction in temperature notices ending 1 °C, which does not affect the process.

red fume, gaseous nitrogen, pig iron

Кравець Василь Анатолійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної екології та хімії Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: придушення бурого диму.

Лоцман Ганна Олександрівна – асистент кафедри прикладної екології та хімії Донбаської національної академії будівництва та архітектури. Наукові інтереси: придушення бурого диму.

Кравець Василий Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной экологии и химии Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: подавление бурого дыма.

Лоцман Анна Александровна – ассистент кафедры прикладной экологии и химии Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: подавление бурого дыма.

Kravets Vasily – DSc (Eng.), Professor, Manager, Applied Ecology and Chemistry Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: suppression of brown.

Lotsman Anna – the assistant, Applied Ecology and Chemistry Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: suppression of brown smoke.