

There is analyzed the possibility of heating of the melting product in the cupola forehearth due to combustion heat of natural gas, and also is given data on physical modeling of metal melt bursting by gas blushes and on experimental determination of gas stress in a forehearth.

Е. Н. ГНЕЗДОВ, Ивановский государственный энергетический университет, Россия

УДК 621.745.34

О ВОЗМОЖНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ПОДОГРЕВА ЧУГУНА В ЗАКРЫТОМ КОПИЛЬНИКЕ ВАГРАНКИ

Существенная часть брака чугунных отливок связана с недостаточной температурой жидкого чугуна перед заливкой форм. Одним из основных способов повышения температуры жидкого чугуна на предприятиях с непрерывным производством является дуплекс-процесс, т. е. подогрев чугуна в отдельном миксере [1, 2]. Однако при меньших объемах производства и соответственно сменном режиме работы этот вариант становится экономически невыгодным из-за больших потерь энергии между рабочими периодами. Поэтому актуальной остается задача экономичного подогрева чугуна непосредственно в горне или копильнике вагранки.

Известны попытки решения этой задачи, причем применяли: 1) газовую горелку с отводом продуктов сгорания из копильника через отдельную трубу [1]; 2) продувку кислородом жидкого чугуна в копильнике сверху [3], снизу [4], а также прямо на желобе [5]; 3) повышение температуры чугуна электрическим током на коксовой холостой колоше [6]. Однако эти методы не прижились на практике из-за высокой стоимости, сложности устройств, низкой технической и организационной культуры на предприятиях, отсутствия надежной автоматики. Необходимо проводить исследования в этом направлении с целью поиска методов и условий, обеспечивающих сравнительно простым и надежным образом перегрев жидкого чугуна в копильнике.

Проблема подогрева чугуна в закрытом копильнике достаточно сложная и многоаспектная. Из трех перечисленных выше способов подогрева технически более простым выглядит второй, но экономически более выгодным должен быть первый при условии максимального использования теплоты продуктов сгорания. Поэтому задача заключается не только в том, чтобы обогреть копильник газовой горелкой, но и в том, чтобы использовать теплоту уходящих газов. И тут возникают вопросы, связанные с типом горелки, направлением факела, отводом высокотемпературных продуктов горения и т. д.

Наиболее естественно будет направить продукты сгорания в шахту вагранки. Такие варианты прорабатывались, но продукты сгорания направлялись не в горн вагранки, а по отдельному газоходу в верхнюю часть шахты, где противодавление существенно меньше.

В то же время существуют горелочные устройства для частичной замены ваграночного кокса природным газом. Такие горелки работают устойчиво, а продукты горения вынуждены преодолевать сопротивление столба шихты в вагранке. Давления в нижней части вагранки и в копильнике отличаются друг от друга на величину сопротивления холостой колоши кокса и отверстий для слива жидкого продукта в копильник. Поэтому установка горелки в копильнике не должна встретить неразрешимых конструктивных трудностей. Однако остается неясной ориентация факела горелки в копильнике, а это может существенно сказаться как на эффективности ее работы, так и на стойкости футеровки.

Наиболее эффективным был бы барботажный способ интенсификации теплообмена от горячих продуктов горения к жидкому металлу, но такой метод надежен при стационарном режиме, а этого в вагранке нет. При барботаже интенсивное перемешивание жидкого плавильного продукта не позволит ему отстояться для выделения шлака и газовых включений, хотя и обеспечит быстрое усреднение химического состава. Желателен некоторый средний вариант, обеспечивающий интенсивную теплоотдачу от горячих продуктов горения непосредственно к жидкому металлу и характеризующийся мягким физическим взаимодействием с ванной расплава. Таким средним вариантом может быть воздействие струи продуктов горения на объем жидкого чугуна через слой расплавленного шлака.

Нами выполнены исследования на физической модели интенсивности перемешивания расплавленного металла за счет энергии газовых струй. Из трех струй, расположенных на продольной оси овальной ванны, средняя была направ-

лена вертикально, а крайние — под углом 45° к вертикали. Определен оптимальный угол поворота крайних струй в горизонтальной плоскости, при котором интенсивность перемешивания ванны максимальна (рис. 1).

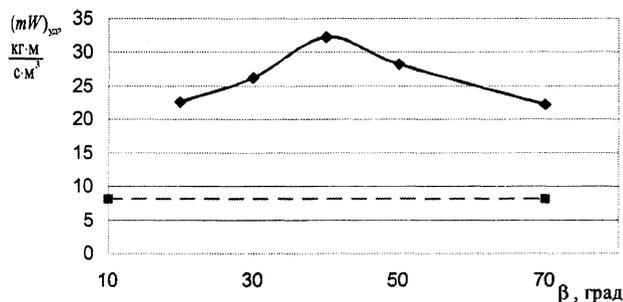


Рис. 1. Зависимость удельного количества движения жидкости от угла поворота струй относительно поперечной оси ванны (пунктиром показано значение $(mW)_{уд}$ для прямых фурм)

При обработке экспериментальных данных подсчитывалась усредненная скорость в 30 точках объема ванны. Точки принадлежат одновременно двум взаимно перпендикулярным сечениям, что позволило определить как составляющие скорости в трех направлениях, так и полную величину вектора скорости.

Весь объем ванны был разделен на 30 частей, каждой точке приписывался некоторый окружающий ее объем определенной массы. Было подсчитано удельное количество движения в каждой точке, отнесенное к 1 м³ приписанного к точке объема:

$$(mW)_{уд,i} = \frac{m_i W_i}{V_i}, \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с} \cdot \text{м}^3},$$

где m_i — масса объема, приписанного к i -й точке, кг; W_i — скорость жидкости в i -й точке, м/с; V_i — объем, приписанный к i -й точке.

Подсчитывалось также средневзвешенное удельное количество движения, приходящееся на 1 м³ объема всей ванны:

$$(mW)_{уд} = \frac{\sum_{i=1}^{30} (mW)_i}{V_в}, \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с} \cdot \text{м}^3},$$

где $V_в = 3,750$ л — объем ванны.

Величина $(mW)_{уд}$ рассматривалась как показатель интенсивности перемешивания ванны в целом, а отношения

$$\frac{(mW)_{уд,i,\min}}{(mW)_{уд}} \text{ и } \frac{(mW)_{уд,i,\max}}{(mW)_{уд}} —$$

как показатели равномерности этого процесса в объеме ванны.

Скорость рассчитывалась по кинограммам и фотограммам движения взвешенных частиц в

выделенных сечениях. Погрешность определения величины $(mW)_{уд}$ порядка 6%.

Из рис. 1 видно, что угол поворота фурм относительно поперечной оси $\beta = 40^\circ$ следует считать оптимальным, обеспечивающим повышение интенсивности перемешивания в среднем в

$$\frac{(mW)_{уд}}{(mW)_{уд,\text{прям.}}} = 3,97 \approx 4,0 \text{ раза по сравнению с прямыми фурмами.}$$

Одновременно наблюдается увеличение равномерности перемешивания по сравнению с прямыми

$$\text{фурмами по показателю } \frac{(mW)_{уд,i,\min}}{(mW)_{уд}} \text{ в } 1,94$$

$$\text{раза, а по показателю } \frac{(mW)_{уд,i,\max}}{(mW)_{уд}} — \text{ в } 1,2 \text{ раза.}$$

Для ванны жидкого металла круглой, а не овальной формы полученные выводы сохраняют свое значение, поскольку степень овальности модели была небольшой.

Другой известный способ интенсификации теплоотдачи от газов к материалу — организация их контакта в противоточном режиме движения. В существующих конструкциях канал, соединяющий вагранку с копильником, узкий. Его сечения недостаточно для отвода продуктов горения из копильника. Можно рассчитать такое сечение канала, которое позволит отводить продукты сгорания в вагранку и осуществлять высокоинтенсивный нагрев струи расплава, стекающей из вагранки в копильник. Потребуется так сконструировать каналы для отвода продуктов сгорания из копильника в вагранку, чтобы предотвратить выдавливание кусков кокса в копильник, например за счет высокой скорости струи газов. Понятно, что при этом угол наклона канала для стекания жидкого чугуна и шлака должен быть больше, чем в обычных конструкциях вагранок.

Например, при производительности вагранки 15 т/ч количество теплоты, необходимое для нагрева жидкого чугуна на 50 °С, составит:

$$Q = GC\Delta t = 15000 \cdot 0,88 \cdot 50 = 660000 \text{ кДж/ч.}$$

При теплотворной способности природного газа 35 000 кДж/м³ с учетом того, что только 25 % теплоты газа передается к металлу расход топлива составит

$$B = Q / (Q_{н \cdot 0,25}) = 660000 / (35000 \cdot 0,25) = 75,4 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Тогда расход продуктов горения будет ~790 м³(н)/ч. При скорости газов в каналах 30 м/с с учетом реальной температуры газов ~1500 °С необходимое живое сечение канала для прохода газов может быть выполнено в виде решетки с ячейками размером 50x50 мм в количестве 20 шт. Практически такую решетку можно изготовить в виде огнеупорного блока размером 370x300 мм²,

который будет иметь перегородки между ячейками толщиной 20 мм. Для современных огнеупорных материалов это реальная задача.

Большое значение в обеспечении надежной работы горелки перегрева чугуна будет иметь изменение давления в копильнике вагранки. Давление газовой среды в копильнике зависит от хода плавки, вида шихты (размера и формы кусков металла и кокса), характеристик воздушодувки и высоты столба шихты над холостой колошей. Испытания вагранок [7] показали, что отклонения от рекомендованного номинального режима могут быть существенны. Кроме того, во время плавки есть короткие периоды, когда подачу дутья прекращают полностью, чтобы надежно закрыть выпускное отверстие копильника пробкой.

Сказанное выше свидетельствует о необходимости экспериментального определения характера изменения давления в копильнике вагранки. Опыты проводились на чугуноплавильных вагранках ОАО «Ивановский завод тяжелого станкостроения», руководство которого заинтересовано

в совершенствовании теплотехнологического режима работы вагранок. При содействии главного металлурга ОАО «ИЗТС» В.Е. Степанова были сняты «фотографии» двух плавок, во время которых фиксировалось изменение давления в копильниках двух одинаковых вагранок № 3 и 4 производительностью 15 т/ч. Вагранки имеют размеры: диаметр шахты 1450 мм, высота шахты 6000 мм, копильник с внутренним диаметром 1400 мм и высотой 1600 мм.

Для выполнения измерений в верхней части копильников (под крышкой) напротив канала для слива чугуна из вагранки были установлены толстостенные трубки из жаропрочной стали. Наружный конец трубки имел заглушку, внутренний конец выходил в рабочее пространство копильника заподлицо с кладкой. Импульс по давлению резиновым шлангом отводился на вторичный показывающий прибор типа НМП-52 класса точности 2,5. Показания снимались через каждые 2 мин, учитывался интервал колебаний показаний прибора. Результаты замеров представлены на рис. 2.

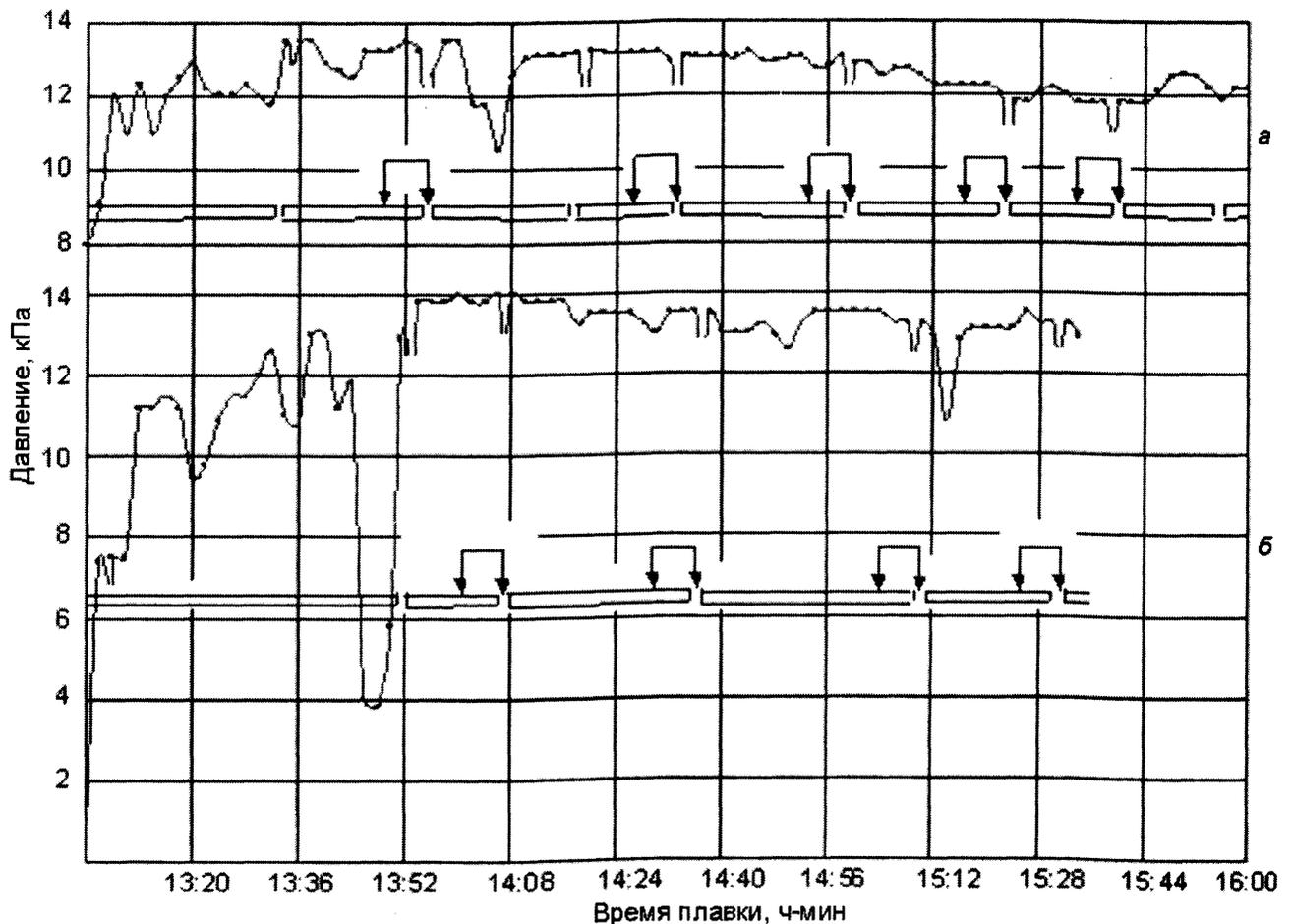


Рис. 2. Изменение давления в копильниках вагранок:  — слив чугуна;  — работает дутьевой вентилятор; а — вагранка №3; б — вагранка №4

Расход дутья на вагранках составлял 18 700–19 300 м³(н)/ч, давление дутья в общем коллекторе перед фурмами — 14,5–14,8 кПа.

На рис. 2 изображены полосы, характеризующие подачу дутья к фурмам, которая периодически прерывается для безопасного и надежного закрытия сливного отверстия. В этот момент давление в копильнике резко падает (на рис. 2 — разрыв графика). В остальное время при давлении дутья перед фурмами ~14,6 кПа давление в копильнике от некоторого стабильного значения 13,0–13,5 кПа периодически снижалось на короткое время (2–3 мин).

В начальный период работы вагранки давление менее стабильно, после первого слива чугуна наблюдается участок относительно стационарной работы, в конце плавки колебания давления снова становятся более заметными. Вероятно, это связано с загрузкой шахты вагранки шихтой. Например, зафиксировано, что существенное снижение давления до величины ~4 кПа в копильнике вагранки №4 в 13 ч 45 мин (рис. 2) соответствует отсутствию (практически полному расплавлению) шихты. Кроме того, после выхода на режим зафиксировано постепенное общее снижение давления.

Выводы

• Возможен подогрев чугуна продуктами сгорания природного газа, которые отдают часть тепла в копильнике и направляются по каналам в горн вагранки, где происходит интенсивный подогрев

горячими продуктами сгорания стекающих навстречу струй жидкого чугуна.

• Полученные на физической модели результаты позволяют утверждать, что максимальная интенсивность перемешивания жидкой ванны струей продуктов сгорания достигается при направлении оси струи под углом 45° к вертикали и 40° к поперечной оси ванны.

• Экспериментальные данные показывают, что в течение плавки при общем уровне давления 13,0–13,5 кПа в копильнике вагранки производительностью 15 т/ч наблюдаются как незначительные периодические снижения, так и резкие существенные падения давления в моменты кратковременного прекращения дутья.

Литература

1. Мариенбах Л.М. *Металлургические основы ваграночного процесса*. М.: Машгиз, 1960.
2. Сухарчук Ю.С. Юдкин А.К. *Плавка чугуна в вагранках*. М.: Машиностроение, 1989.
3. Баймухамедов Б.И. *Обработка жидкого чугуна в копильнике вагранки струйно-конверторным способом // Литейное производство*. 1983. № 4.
4. Ковалевич Е.В., Тимофеев И.П., Кривичкий Е.В., Кашеев Н.Н. *Опыт применения кислорода в ваграночной плавке // Литейное производство*. 1985. № 8.
5. Кузнецов В.Н. *Особенности производства чугунных отливок в тяжелом машиностроении // Литейное производство*. 1994. № 1.
6. Жидков К.П. *Повышение температуры ваграночного чугуна электрическим током // Литейное производство*. 1980. № 3.
7. Гнездов Е.Н. *Об улучшении работы вагранок // Литейное производство*. 2002. № 12.



Черные металлы

По сообщению "Metal Bulletin", в последнее время в ряде регионов мира активизировался спрос на железосодержащее сырье со стороны металлургических компаний, что привело к росту экспортных цен.

В середине января 2003 г. экспортные цены бразильского передельного чугуна с поставкой в апреле — и июле 2003 г. достигли 135–140 долл. за т фоб.

В январе текущего года объем производства товарного чугуна в Бразилии несколько уменьшился вследствие сильных ливневых дождей в шт. Минас-Жерайс.

Экспорт товарного чугуна из Бразилии в последнее время находился на среднемесечном уровне 350 тыс. т, тогда как ранее он составлял 400–450 тыс. т. Снижение его вывоза обусловлено ростом спроса на внутреннем рынке страны.

Экспортные цены этого товара в Бразилии в начале февраля 2003 г. (с поставкой в июле) повысились до 162–165 долл. за т фоб, цены литейного чугуна были примерно на 20 долл. на т выше.

Несмотря на то, что спрос на чугун на мировом рынке продолжает превышать предложение, бразильские экспортеры полагают, что темпы роста цен на этот товар в дальнейшем снизятся по сравнению с декабрем 2002 г. — январем 2003 г. В частности, по мнению бразильской фирмы "Viena Siderurgica" (производитель и экспортер чугуна), темпы роста цен замедлятся, поскольку последние находятся на сравнительно высоком уровне.

В конце января 2003 г. американская фирма "Nucor" заключила контракт на закупку в Бразилии партии передельного чугуна с отгрузкой в мае — июне по цене 172,25 долл. за т сиф Нью-Орлеан. В феврале цены чугуна с поставкой в страны Азии составляли 190 долл. за т каф, государства Европы — 180 долл. и в США — 175 долл.

На внутреннем рынке России в последние месяцы наблюдался рост спроса на чугун. Экспортные цены российского чугуна повысились со 140–145 долл. в начале февраля текущего года примерно до 150–155 долл. за т фоб в начале марта.