

А.Г.Чернятевич, П.О.Юшкевич

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ КОНВЕРТЕРНОЙ ВАННЫ ПРИ ВЕРХНЕЙ И КОМБИНИРОВАННОЙ ПРОДУВКЕ

Институт черной металлургии им.З.И.Некрасова НАН Украины

Целью исследования является изучение интенсивности перемешивания в ванне конвертера при верхней и комбинированной продувке. Показано, что комбинированная продувка имеет принципиальные отличия в организации и интенсивности циркуляционных потоков. В средней по вертикали части ванны в зоне между донными струями наблюдается энергичная циркуляция металла, вместо медленного движения вверх при продувке сверху. При комбинированной продувке улучшается перемешивание ванны и не наблюдается образование застойных зон.

Ключевые слова: ванна конвертера, верхняя и комбинированная продувка, перемешивание ванны

Состояние проблемы. В настоящее время кислородно-конвертерный процесс является основным способом мирового производства стали. При этом классическая верхняя кислородная продувка ускоренно заменяется наиболее распространенной комбинированной продувкой конвертерной ванны кислородом сверху и нейтральным перемешивающим газом через днище. В конвертере с верхней и комбинированной продувкой имеет место циркуляция металлического расплава в вертикальных плоскостях: общая (вверх в зоне дутья и вниз к днищу в зоне циркуляции) и частная (у каждого сопла или фурмы). Кроме этого, расплав вращается и в горизонтальной плоскости. Отдельные же вихри у сопел перемещаются в обратном направлении. В результате циркуляции металлического расплава поверхность ванны получает колебательные движения, при резонансе амплитуд колебаний происходит всплеск. Амплитуда колебаний и скорости вращения металлического расплава увеличивается с увеличением давления перед соплами. Характер внедрения газа в расплав зависит от величины его избыточного давления перед фурмой и вязкости продуваемого расплава [1]. Образующиеся циркуляционные потоки в конвертере являются основными, определяющими массоперенос в ванне. Установленная с использованием моделирования средняя скорость циркуляционных потоков (0,3-0,6 м/с [2]) значительно ниже скорости всплывания пузырей (5-10 м/с) [3].

При верхней продувке имеется 2 источника перемешивания: верхний дутьевой поток и пузырьки монооксида углерода, образующиеся при обезуглероживании. При комбинированной продувке подключается 3-й источник перемешивания в виде подаваемого через донные фурмы нейтрального газа. Значение каждого источника в общем уровне интенсивности гидрогазодинамики и массообменных процессов, протекающих в конвертерной ванне, изменяется в отдельные периоды

плавки [4]. При этом большинство авторов считает, что главной составляющей мощности перемешивания при верхней продувке является образование и всплывание пузырей CO [5], однако с той особенностью, что в первые 3/4 плавки выделение пузырей локализуется в основном в области реакционных зон, а после выгорания углерода до 0,8-1,2% фронт реакции его окисления в значительной мере перемещается на футеровку. Влияние пузырьков CO на перемешивание ванны снижается по мере понижения скорости обезуглероживания, что достигается обычно при концентрациях углерода $\leq 0,2-0,4\%$. А кислородное дутье, истекающее из верхней фурмы в недостаточной степени оказывает воздействие на расплав для эффективного перемешивания объема ванны.

При комбинированной продувке в период интенсивного снижения скорости обезуглероживания с подачей одинаковых количеств газа в ванну сверху и снизу, скорости циркуляции и массопереноса при донной подаче газа значительно выше, чем при верхней [6]. И по этому, в период понижения скорости обезуглероживания возрастает значение перемешивания газом подаваемым через донные фурмы, за счет чего сохраняется эффективность перемешивания. В этом и наблюдается преимущество комбинированной продувке. Интенсивность перемешивания и скорость массообменных процессов в ванне конвертера определяется не только мощностью и соотношением дутья подводимого сверху и снизу, но и соотношением количества кислорода, подаваемого через фурму и объема выделяющейся окиси углерода (скорости обезуглероживания), геометрическими размерами ванны и её конфигурацией.

Для оценки интенсивности перемешивания жидкого металла в конвертере используется количественный критерий полного перемешивания. Под ним подразумевается время необходимое для гомогенизации ванны по концентрации индикатора, введенного в начальный момент времени [4]. Имеющиеся сведения о гидродинамике ванны при чисто верхней продувке, а тем более при различных видах комбинированной продувке содержат ряд недостаточно изученных вопросов. Остается недостаточно исследованными организация и интенсивность циркуляционных потоков, распределение температур в ванне, интенсивность перемешивания.

Целью исследования является изучение интенсивности перемешивания в ванне при верхней и комбинированной продувке.

Установка и методика холодного моделирования. Опыты по изучению перемешивания конвертерной ванны проводились с использованием установки (рис.1) на моделях, изготовленных из органического стекла в масштабе 1:25 по отношению к 160-т конвертеру. В качестве основных моделирующих сред использовали воду и компрессорный воздух. Давление и расход воздуха на продувку

измерялись манометрами и ротаметрами. В работе использовались 3 модели: две цилиндрических и одна плоская (рис.2).

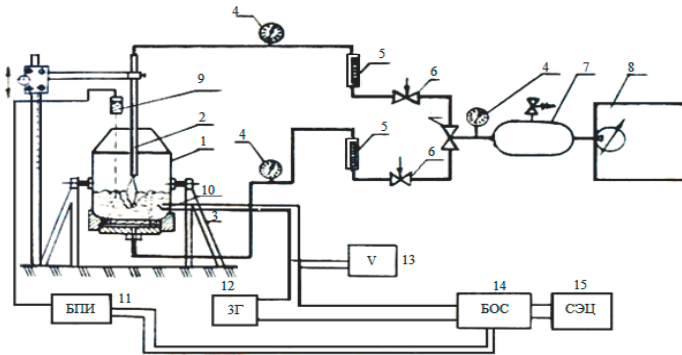


Рис.1. Схема установки холодного моделирования продувке конвертерной ванны: 1-модель конвертера; 2- фурма с подъемным устройством; 3- днище с воздушной коробкой; 4- манометры; 5- ротаметры; 6- регулирующие вентили; 7- ресивер; 8- компрессор; 9 - баллончик с индикатором; 10- электроды; 11- блок подачи индикатора; 12- звуковой генератор; 13-вольтметр; 14- блок обработки сигналов; 15- секундомер электронный цифровой

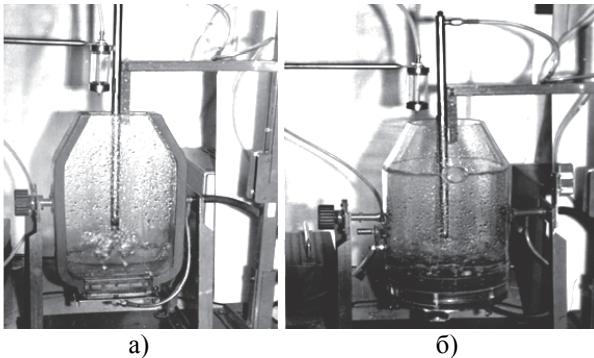


Рис.2. Внешний вид плоской (а) и цилиндрической (б) моделей

Плоская модель являлась вырезанной частью цилиндрической модели и использовалась для подтверждения информации о том, что при продувке через многоструйные фурмы, кроме основных потоков и «первичной» циркуляции, вызванной движением газов из каждого сопла, образуются дополнительные более слабые и менее ярко выраженные зоны «вторичной циркуляции» [5]. При использовании плоской модели опасались искажения основных параметров реакционной зоны, вследствие предположительного влияния плоских стенок модели. Были сопоставлены ширина и глубина реакционной зоны при проведении опытов в цилиндрической и плоской модели в результате было

установлено, что основные параметры реакционных зон мало отличаются и следовательно искажения влияния плоских стен было небольшим.

Цилиндрические модели с внутренним диаметром 215 и 252 мм позволяли имитировать разгар футеровки по ходу кампании конвертера. Глубина ванны менялась соответственно с 61 до 41 мм. Остальные основные параметры модели и промышленного конвертера, а так же условия опытов, приведены в табл.1.

Таблица 1. Основные параметры 160-т конвертера и модели

Наименование параметров	Образец 160-т конвертера		Модель 160-т конвертера М 1:25	
	Начало кампании	Конец кампании	Начало кампании	“Конец кампании”
1	2	3	4	5
Диаметр цилиндрической части конвертера, D_k , м	5,52	6,56	0,215	0,252
Диаметр сопла фурмы, D_r , м	0,043	0,043	0,0017	0,0017
Расстояние от фурмы до спокойной ванны, H_f , кал	15-90	15-90	15-80	15-90
Плотность жидкости, $\rho_{ж}$, кг/м ³	7000	7000	1000	1000
Плотность газа, ρ_r , кг/м ³	1,42	1,42	1,2	1,2
Отношение H_b/D_k	0,275	0,155	0,275	0,155
D_r/D_k	0,0077	0,0065	0,0077	0,0065
$D_{с}^f/D_k$ (фурмы)	0,025	0,021	0,025	0,021
$D_{с}^d/D_k$ (днища)	0,5	0,4	0,5	0,4
Расход газа через фурму $Q_{ф}$, нм ³ /мин	300-500	300-500	0,065-0,11	0,065-0,11
Расход газа через днище $Q_{д}$, нм ³ /мин	6-50	6-50	0,006-0,01	0,006-0,01
Глубина ванны, H_b , м	1,52	1,02	0,061	0,041

Для продувки ванны сверху использовались одно-, двух-, трех-, четырех-, пяти- и шестисопловые наконечники. Цилиндрические сопла выполняли под углом 10,15,20,25° к вертикали, что соответствует реальным промышленным условиям.

Определение конфигурации и пространственных размеров образующихся реакционных зон при комбинированной продувке осуществляли по представленной схеме (рис.3).

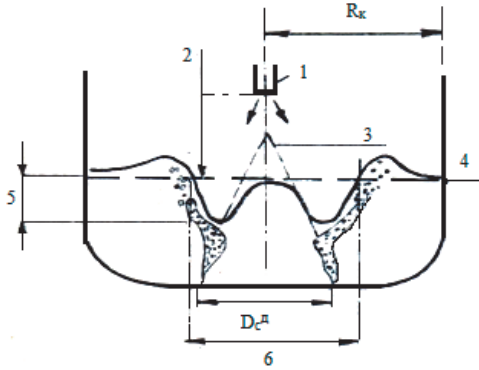


Рис.3. Схема измерений размеров реакционной зоны и угла сходимости донных струй: 1-фурма; 2-высота фурмы (H_f); 3-угол сходимости донных струй; 4-начальный уровень ванны; 5- глубина реакционной зоны; 6-ширина реакционной зоны

Результаты исследований и их анализ. При исследованных режимах верхней продувки характер циркуляции конвертерной ванны от описанного в работе [3] практически не отличался (рис.4)

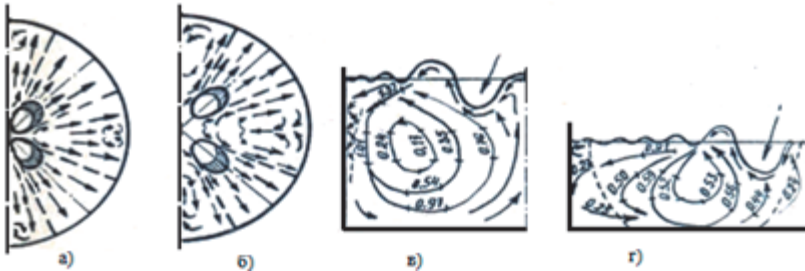


Рис.4. Характер циркуляции жидкости на поверхности ванны при верхней продувке с различным углом наклона сопел к вертикали: заштрихованная область - застойные зоны; а-угол наклона сопел к вертикали 10° ; б- 20° ; в-характер циркуляции жидкости в вертикальном сечении узкой и глубокой ванны; г- характер циркуляции жидкости в вертикальном сечении широкой и мелкой ванны. Цифры у выделенных интервалов - средняя скорость жидкости на данном интервале, м/с

При подаче газа при верхней продувке с расходами, эквивалентными промышленным, основные потоки жидкости направлены вниз вдоль конвертера и вверх по его оси. Скорость потока жидкости максимальна на поверхности ванны и убывает по замкнутому основному циркуляционному контуру. Возникновение именно такого движения, способствует отбрасывание из реакционной зоны масс жидкости к периферии агрегата, а также вовлечение жидкости в движение вдоль стенок кратера выходящим из него потоком газа. В зоне примыкания

поверхностных слоев жидкой ванны к стенкам конвертера образуются небольшие области вторичной циркуляции направленной вверх.

С увеличением высоты фурмы центральный восходящий поток искажается и появляется несколько более мелких замкнутых циркуляций жидкости, при этом в углах и по оси агрегата наблюдается худшее перемешивание, вплоть до образования застойных зон (с очень слабой циркуляцией), развитие которых тем больше, чем выше расположена фурма (рис.5,в).

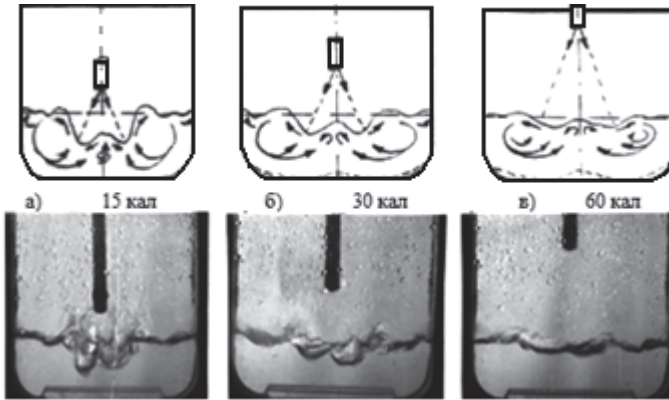


Рис.5. Изменение характера циркуляции конвертерной ванны при верхней продувке с различной высотой расположения фурмы над ванной: угол наклона сопел к вертикали 10^0 ; а,б,в- расход газа через фурму $350 (0,041)\text{м}^3/\text{мин}$; соответственно для образца и (в скобках) для модели; затемненные участки-застойные зоны

С увеличением угла наклона сопел к вертикали перемешивание ванны по оси у дна конвертера ухудшается, несмотря на то, что скорость движения жидкости на поверхности при этом возрастает.

Дополнительное введение донной продувки, при прочих равных условиях, приводит к изменению характера циркуляции жидкости в ванне конвертера в случае истечения газа из донных фурм в струйном режиме. По мере подъема донная струя делится на части, образуются пузыри разного размера, вплоть до мелких, которые плотно расположены и совместно движутся вверх. На рис.6 они показаны в виде сплошных затемнений. Именно по этому, такая «струя» меняет свою форму вблизи реакционных зон (рис.6).

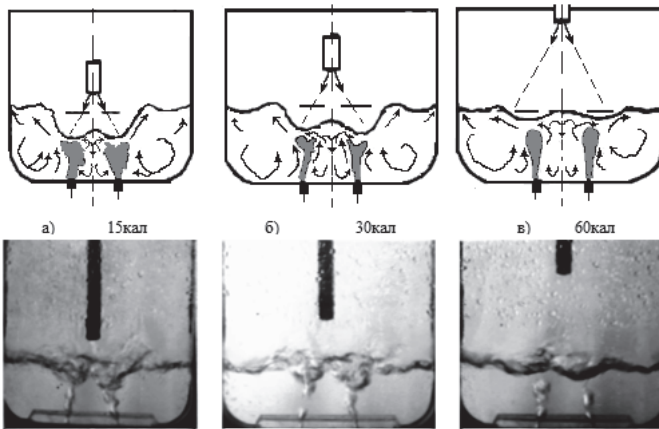


Рис.6. Изменение характера циркуляции ванны при комбинированной продувке: угол наклона сопел верхней фурмы 15° ; а,б,в - расход газа через верхнюю фурму $350 (0,041) \text{ м}^3/\text{мин}$; расстояние между донными фурмами $0,5 R_k$; расход газа снизу $50 (0,006) \text{ м}^3/\text{мин}$

Из приведенных данных (рис.5 и 6) отчетливо видно принципиальное отличие гидродинамики ванны при комбинированной и верхней продувке. При комбинированной продувке коренным является изменение направления движения жидкости в центральной (осевой) части. При наличии двух, симметрично разнесенных от оси конвертера сопел, донные струи во всех вариантах опытов образовывали в среднем объеме ванны два замкнутых циркуляционных потока, вытянутых вверх вдоль движущихся струй и вниз по вертикальной оси ванны. Так как расход газа через донные сопла во всех опытах был постоянным, то о мощности этих циркуляционных потоков, в сравнении с первичными циркуляционными потоками, можно судить по степени отклонения донных струй от вертикали, а именно по наклону их к оси конвертера. Во всех опытах с комбинированной продувкой определяли угол наклона оси нижней (основной) части донных струй к вертикали на основе измерения сходимости их осей (рис.3). На основе анализа результатов измерений (рис.7) можно прийти к следующему заключению.

Прежде всего, следует отметить, что при обычно встречающемся в практике производства и принятого в описанных опытах соотношении расходов продувочных газов сверху и снизу, угол наклона донных струй в наибольшей мере зависит от расстояния между донными соплами и от высоты фурмы над уровнем спокойной ванны. С увеличением первого и уменьшением второго фактора возрастает угол наклона донных струй. Значительно, хотя и в меньшей мере, возрастает угол наклона донных струй с повышением расхода верхнего дутья.

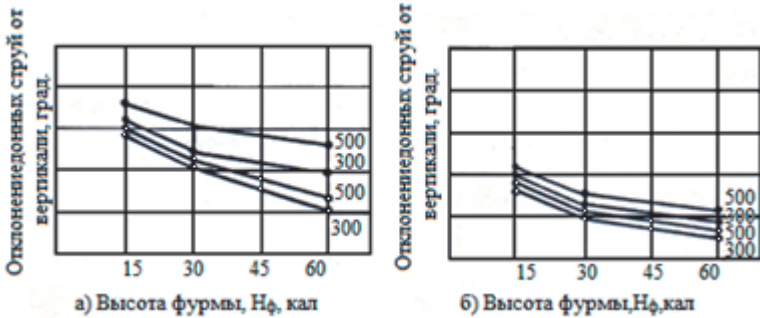


Рис.7. Связь отклонения донных струй от вертикали с высотой фурмы над уровнем жидкой ванны и расходом газа сверху при комбинированной продувке: а) расстояние между донными соплами R_k ; б) расстояние между донными соплами $0,5R_k$; ●- угол наклона сопел верхней фурмы 10° ; ○- угол наклона сопел верхней фурмы 15° ; цифры у кривых – расход газа через верхнюю фурму в пересчете на реальный агрегат, $\text{nm}^3/\text{мин}$. Расход газа снизу $50 \text{ nm}^3/\text{мин}$

Увеличение угла наклона сопел в верхней фурме наоборот уменьшает отклонение осей донных струй от вертикали, что можно объяснить понижением скорости первичных циркуляционных потоков в нижних слоях жидкой ванны.

Согласно полученным данным мощность первичного циркуляционного потока определяется высотой фурмы, углом наклона её сопел, расположением донных сопел и расходом дутья. При этом в случае расстояния между донными соплами равного $0,5$ радиуса конвертера и при повышенном уровне фурмы мощность каждого первичного циркуляционного потока у днища конвертера становится сопоставимой с мощностью потока, создаваемого донной струей и поэтому относительно мало отклоняет последнюю.

Нужно особо подчеркнуть, что во всех исследованных случаях первичные циркуляционные потоки развиваются в объеме, стесненном донными струями. По этой причине первичные циркуляционные потоки (образуемые верхним дутьем) при комбинированной продувке имеют большую скорость на всей их протяженности и, особенно на участке, где их обычно медленное движение вверх сливается с быстрыми циркуляционными потоками, создаваемыми донными струями. Кроме того при комбинированной продувке, как указывалось, наблюдается энергичная циркуляция в осевой части ванны между донными струями, вместо медленного движения вверх при только верхнем дутье. Все это вместе взятое обеспечивает резкое улучшение степени перемешивания, а значит и однородности состава ванны при комбинированной продувке. Подтверждением этого явилось отсутствие при этом способе продувке застойных зон.

Из результатов проведенных опытов вытекает, что донное дутье при комбинированной продувке изменяет параметры реакционных зон, в

частности, уменьшает глубину последних, и значительно увеличивает их ширину (рис.8), вследствие чего поверхность ванны более спокойная по сравнению с верхней продувкой. Хотя это обстоятельство может иметь некоторое влияние на степень развития обменных процессов между шлаком и металлом и может отразиться на службе футеровки конвертера, однако указанное зависит от расположения продувочных устройств в днище, и в описываемых опытах более рациональным было расстояние между ними равным радиусу конвертера, когда донные струи окажутся под реакционными зонами.

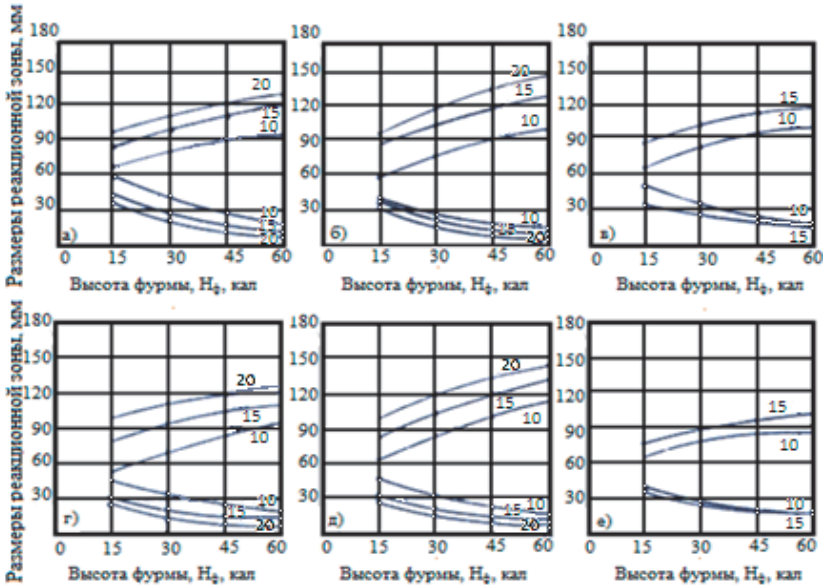


Рис.8. Влияние высоты фурмы и угла наклона её сопел на размер реакционной зоны при комбинированной (а, б, г, д) и верхней (в, е) продувке: а, б, в- расход газа через верхнюю фурму 500 (0,060)м³/мин; г, д, е – расход газа через верхнюю фурму 350 (0,041) м³/мин; а, г – расстояние между донными фурмами 0,5 R_к; б, д- расстояние между донными фурмами R_к; в, е- верхняя продувка; ●- ширина реакционной зоны; ○- глубина реакционной зоны; цифры у кривых -угол наклона сопел фурмы к вертикали

В условиях верхней и комбинированной подачи дутья степень однородности ванны, как выше было указано, характеризуется временем «полного» перемешивания. Время «полного» перемешивания зависит от расхода вдуваемого газа сверху и снизу, высоты фурмы над уровнем спокойной ванны, количества сопел в фурме и угла их наклона, расположения сопел в днище, а так же от отношения глубины ванны к диаметру конвертера, влияющему на развитие циркуляционных потоков и их организацию.

При верхней продувке проведены опыты с изменением расхода дутья в пределах $0,011-0,073 \text{ нм}^3/\text{мин}$, что соответствует расходу кислорода в промышленном 160-т конвертере $100-600 \text{ нм}^3/\text{мин}$. Как видно (рис.9,а), с точки зрения увеличения интенсивности перемешивания, повышение расхода дутья при продувке сверху рационально лишь до определенного предела вследствие того, что в этом случае интенсивность глубинных циркуляционных потоков и распространение их на весь объем ванны возрастает в гораздо меньшей степени.

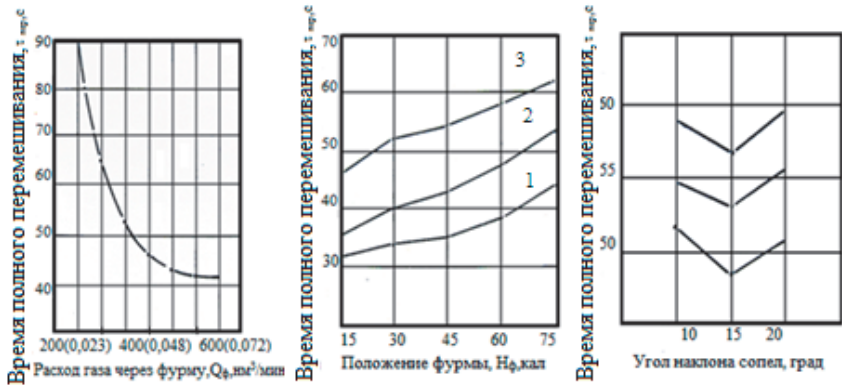


Рис.9. Влияние параметров верхней продувки на время полного перемешивания: а - зависимость времени перемешивания конвертерной ванны от расхода газа через фурму; высота фурмы H_f - 15 кал. угол наклона сопел 15° ; б- зависимость времени перемешивания конвертерной ванны от высоты фурмы; 1-расход газа через фурму Q_f -600 (0,073) $\text{нм}^3/\text{мин}$; 2-расход газа через фурму Q_f -500 (0,060) $\text{нм}^3/\text{мин}$; 3-расход газа через фурму Q_f -400 (0,046) $\text{нм}^3/\text{мин}$; в- зависимость времени перемешивания конвертерной ванны от угла наклона сопел; 1- высота фурмы H_f - 30 кал.; 2- высота фурмы H_f - 45 кал.; высота фурмы H_f - 60 кал.; расход газа 350(0.041) $\text{нм}^3/\text{мин}$

Как видно из результатов опытов (рис.9,б) при всех испытанных расходах дутья с увеличением уровня фурмы от 15 до 75 калибров возрастало время полного перемешивания. При уменьшении угла наклона сопел (рис.9,в) в фурме до 10° полнота перемешивания ванны ухудшалась в сравнении с углом наклона 15° . Объяснить это можно тем, что при угле наклона 10° ширина реакционной зоны уменьшается, вследствие чего создаются условия для более быстрого уменьшения скорости движения первичных циркуляционных потоков по мере их распространения в объеме ванны. Из сопоставления данных приведенных на рис.9,а. и 9,б следует, что расход дутья влияет сильнее на время перемешивания, чем уровень фурмы.

Определение полноты перемешивания при комбинированной продувке с учетом влияния уровня верхней фурмы, расположения и числа донных продувочных устройств. Как отмечено ранее, наиболее

благоприятное развитие циркуляционных потоков при комбинированной продувке достигается в случае расположения донных продувочных устройств в пределах окружности с радиусом равным половине внутреннего радиуса конвертера ($R_{\text{соп.}} = 0,5 R_{\text{конв.}}$), в связи с чем было решено расположить сопла в пределах окружности такого радиуса. При этом изучены 3 варианта расположения различного количества сопел в днище (рис.10) при равных прочих условиях.

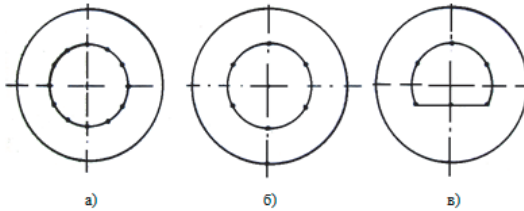


Рис.10. Варианты расположения сопел в днище холодной модели при комбинированной продувке; а- 12 сопел по окружности; б- 6 сопел по окружности; в- 6 сопел по сегменту

Сопоставление результатов опытов (рис.11,а) показывает, что при выборе оптимального числа сопел в днище необходимо учитывать намеченный расход вдуваемого газа. Определение полноты перемешивания в зависимости от изменения уровня верхней фурмы (рис.11,б) при комбинированной продувке производилось с постоянным соотношением расходов дутья сверху и снизу при выбранном числе и расположении сопел. При этом уровень верхней фурмы изменялся от 15 до 75 калибров.

Как видно из рис.11, а, при относительно небольшом расходе донного дутья ($0,002-0,010 \text{ м}^3/\text{мин}$) в случае шести сопел (кривая б), время полного перемешивания значительно ниже, чем при двенадцати соплах (кривая а). Указанное можно объяснить только различной интенсивностью перемешивания. При небольшом суммарном расходе донного дутья в случае 12 сопел, через каждое из них происходит вдвое меньшее количество вдуваемого газа, чем при шести соплах и соответственно, меньше образуется пузырей, создается меньшая интенсивность циркуляционных потоков, распространяющихся на меньший объем ванны, что и приводит к получению увеличения времени полного перемешивания. По мере повышения расхода донного дутья интенсивность перемешивания соответственно возрастает в обоих сопоставляемых вариантах. Однако в случае шести сопел (вариант б) после достижения некоторого, так сказать, критического расхода донного дутья, равного, примерно, $0,008-0,010 \text{ м}^3/\text{мин}$, дальнейшее увеличение последнего перестает улучшать перемешивание ванны. В этом случае вдуваемый газ проходит через жидкость в струйном режиме, в результате чего возникает пробойный режим продувки.

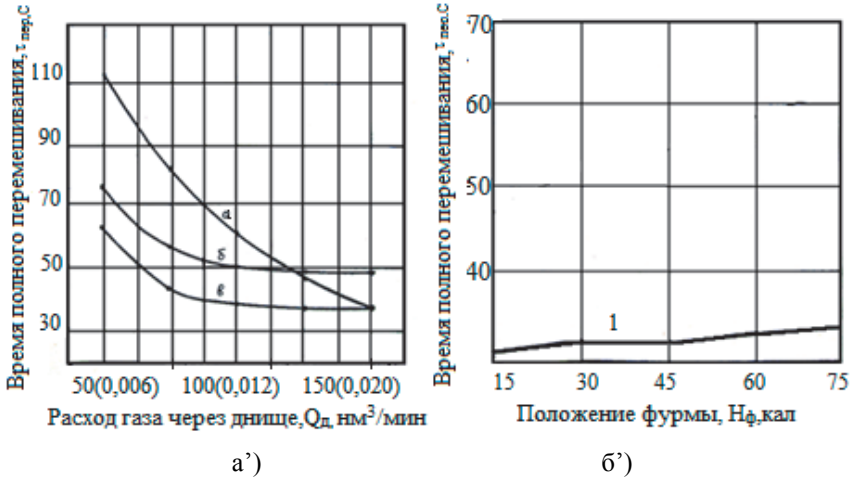


Рис.11. Влияния параметров донного и верхнего дутья на время полного перемешивания при комбинированной продувке: а') - зависимость времени перемешивания конвертерной ванны от расхода газа через днище при комбинированной продувке: а- 12 сопел по окружности; б- 6 сопел по окружности; в- 6 сопел по сегменту; б') - Влияние на время перемешивания конвертерной ванны при верхней и комбинированной продувке высоты фурмы; 1- комбинированная продувка: расход газа сверху $Q_{\Phi} - 400 (0,046) \text{ нм}^3/\text{мин}$; расход газа снизу $Q_{\Delta} - 24 (0,0028) \text{ нм}^3/\text{мин}$

Во всех опытах (рис.11,б и 9,б) при комбинированной продувке время полного перемешивания было ниже, чем при верхнем дутье, причем с повышением уровня фурмы это различие увеличивалось. Установлено, что в отличие от верхней при комбинированной продувке, даже при положении фурмы на уровне 75 калибров, циркуляция в глубинных слоях ванны сохраняется, но конечно с несколько меньшей интенсивностью.

Выводы. С использованием разработанной установки и методики холодного моделирования:

- подтверждено, что в случае верхней продувки конвертерной ванны с расходами газа, эквивалентными промышленным, в ванне возникают четко выраженные циркуляционные сперва от реакционной зоны к периферии по горизонтали в поверхностном слое металла, а затем вниз у стен конвертера с поворотом вверх к реакционной зоне. Скорость «первичного» циркуляционного потока в глубинных слоях конвертерной ванны уменьшается с повышением высоты фурмы над уровнем спокойной ванны, увеличением угла наклона сопел к вертикали в верхней фурме и понижением интенсивности продувки;

- установлено, что комбинированная (верхне-донная) продувка имеет принципиальные отличия в организации и интенсивности циркуляционных потоков. В средней по вертикали части ванны, вместо

медленного движения металла вверх при продувке сверху, наблюдается энергичная его циркуляция в зоне между донными струями с образованием потока направленного вниз по оси конвертера. Кроме этого, нисходящая и восходящая ветви первичных циркуляционных потоков, при этом варианте продувке, развиваются в объеме, стесненном донными струями, и поэтому приобретают большую скорость и мощность. «Первичные» циркуляционные потоки наклоняют к оси конвертера восходящие донные струи тем сильнее, чем больше мощность первых, а значит, чем ниже уровень фурмы, меньше, угол наклона сопел верхней фурмы и выше расход дутья. При комбинированной продувке улучшается перемешивание ванны и при обычных для промышленных условий расходах донного и верхнего дутья не наблюдается образование застойных зон. Для достижения наибольшей полноты перемешивания конвертерной ванны при комбинированной продувке необходимо донные сопла располагать в днище по окружности с радиусом, обеспечивающим подачу нейтрального газового дутья под основания реакционных зон, образованных верхними кислородными струями, а также выдерживать оптимальное соотношение расходов верхнего и донного дутья при выбранной высоте кислородной фурмы.

1. Смоктий В.В., Лапицкий В.В., Белокуров Э.С. Комбинированные процессы выплавки стали в конвертерах.-К.: Техніка.-1992.- 160 с.
2. Токовой О.К., Строганов А.И., Поволоцкий Д.И. К гидродинамике конвертерной ванны при продувке кислородом // Изв. Вузов. Черная металлургия.-1971.-№1.-С.48-50.
3. Баптизманский В.И. Теория кислородно-конвертерного процесса.-М: Металлургия.-1975.- 375 с.
4. Лопухов Г.А. Производство чугуна и стали /Особенности гидродинамики металлической ванны в комбинированных процессах // Итоги науки и техники.-Том 19.-Москва.-1989.-С.140-144.
5. Шнееров Я.А, Кушнарев С.И., Яновский И.А.Исследование циркуляций конвертерной ванны при многоструйной продувке сверху //Металлургия коксохимия.-1979.-С. 12-15.
6. Physical and metallurgical characteristics of combined blowing processes.Nakanishi Kyoji, Soito kenji, Nazaki Tsutomu, Koto Yoshiei, Suzuki Ken-ichiro, Emi Toshiko.-6th Steelmak.- Conf. Proc.Val.65;Pittsburgh MeeT., March.28-31, 1982 [New.York,N.4].1982, 101-108 (англ.)(РЖ мет. 1983,10В381)

*Статья рекомендована к печати
докт. техн. наук А.С.Вергуном*

A.G.Чернятевич, П.О.Юшкевич

Особливості перемішування конвертерної ванни при верхній та комбінованій продувці

Метою дослідження є вивчення інтенсивності перемішування у ванні конвертера для верхнього та комбінованого продування. Показано, що комбіноване продування має принципові відмінності в організації та інтенсивності циркуляційних потоків. У середній по вертикалі частині ванни в зоні між донними струменями спостерігається енергійна циркуляція металу, замість повільного руху вгору при продувці зверху. При комбінованій продувці поліпшується перемішування ванни і не спостерігається утворення застійних зон.

Ключові слова: ванна конвертера, верхня і комбінована продування, перемішування ванни

A.G.Cherniatevich, P.O.Yushkevich

Converter bath mixing peculiarities during upper and combined blowing

The aim of the research is to study the intensity of mixing in the bath at the top of the converter and combined blowing. It is shown that the combined purging is fundamentally different in organization and circulation flow rate. In the middle of a portion of the bath in the area between the bottom jets observed vigorous circulation of metal, instead of the slow upward movement at a purge from the top. When combined purging improves mixing bath and observe the formation of dead zones.

Keywords: bath converter, the upper and combined blowing, bath agitation