

литых заготовок, дисперсность зерен повышается в 5-10 раз, а их границы более чистые от примесей, что позволяет значительно снижать брак заготовок и листового проката по трещинам, расслою, осевой неоднородности, неметаллическим включениям и повышать уровень механических свойств сталей ответственного назначения.



Список литературы

1. Ефимов В. А. Разливка и кристаллизация стали. – М.: Металлургия, 1976. – 552 с.
2. Влияние газоимпульсного перемешивания жидкого металла на качество слитков и непрерывнолитых слябов / В. Н. Баранова, Р. Я. Якобше, В. Л. Найдек и др. // Процессы литья. – 2010. – № 6. – С. 20-27.
3. Эффективность газоимпульсного перемешивания стали в процессе формирования слитка / Р. Я. Якобше, Н. Ф. Наконечный, В. А. Ефимов и др. // Процессы литья. – 1993. – № 3. – С. 42-47.
4. Скок Ю. Я., Якобше Р. Я., Баранова В. Н. Влияние физических и физико-химических воздействий на процессы структурообразования слитков и непрерывнолитой стали // 50 лет в Академии наук Украины: ИЛП, ИПЛ, ФТИМС. – Киев: Процессы литья, 2008. – С. 413-422.
5. Влияние газоимпульсного и электромагнитного перемешивания в процессе затвердевания на прочностные свойства литого металла / В. Н. Баранова, Р. Я. Якобше Г. И. Касьян и др. // Процессы литья. – 2008. – № 3. – С. 60-63.
6. Внешние воздействия на кристаллизацию и механические свойства литого и деформированного металла / В. Н. Баранова, Р. Я. Якобше, Ю. Я. Скок и др. // Там же. – 2005. – № 4. – С. 48-53.

Поступила 22.02.2011

УДК 669.162.221:621.78.062

**Е. А. Рейнталь, В. П. Лихошва, В. В. Савин*,
Л. А. Бондарь, А. Н. Тимошенко, Р. С. Надашкевич**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

*Запорожская областная академия последипломного педагогического образования, Запорожье

ИЗМЕНЕНИЕ ГАЗОВОЙ КАВЕРНЫ ПРИ ПОГРУЖЕНИИ ФУРМ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ЖИДКИЕ СРЕДЫ

Рассмотрены процессы формирования каверн при заглублении газовых потоков в жидкие среды. Исследованы изменения форм и размеров рабочих зон каверн в зависимости от изменения параметров газового потока.

Ключевые слова: каверна, газовый поток, фурма.

Розглянуті процеси формування газових каверн при зануренні газових потоків у рідкі сере-

довища. Досліджено зміна форм і розмірів робочих зон каверн залежно від зміни параметрів газового потоку.

Ключові слова: каверна, газовий потік, фурма.

The processes of cavities forming are considered at giving of gas streams in liquid environments. The changes of sizes and cavities workings areas depending on the change of gas stream parameters are investigated.

Keywords: cavity, gas stream, tuyer.

Исследования процесса взаимодействия газовых потоков с жидкими средами проводятся в таких сферах науки и промышленности, как изучение гидродинамики морских ракет, продувка кислородом сталеплавильного конвертера [1] и др. В условиях совместного погружения газопорошкового и лазерного потоков в жидкую среду (например, металлический расплав) происходит искривление поверхности жидкости с образованием каверны. Изменение формы и глубины образующейся каверны в зависимости от величины подаваемого расхода газа и конструкции сопла применительно к вышеуказанным процессам исследовано недостаточно. Важным здесь является определение границ области, в пределах которой возможно осуществлять лазерный нагрев частиц порошка в газовой среде до их контакта с жидкостью. Для этого ввели параметр – рабочую зону (объемная область газовой каверны от сопла до донной поверхности каверны, ограниченная лазерным излучением вдоль осевой линии, где объемная доля воздуха близка к 100 %). Целью исследований является изучение геометрии газовых каверн и определение размеров рабочей зоны для различных конструкций фурм.

Настоящая работа является продолжением исследований по взаимодействию лазерных газопорошковых потоков с жидкими средами, обеспечивающими формирование суспензионных и эмульсионных расплавов с целью управляемого получения композиционных материалов [2-4]. На основе изучения газогидродинамических процессов, протекающих в металлических расплавах в условиях заглужения газопорошковых потоков рассмотрены особенности формы и глубины каверн для различных конструкций фурм. Результаты экспериментальных исследований были использованы при математическом моделировании указанных процессов в среде “Ansys”. Формулировка математической модели и ее построение представлены в работе [4].

Воздействие газовых потоков на жидкие среды без заглужения и с заглужением струи было нами исследовано ранее при использовании наиболее распространенной конструкции фурмы [5]. Значения ускоряющего и транспортирующих потоков газов выбраны согласно работе [6].

Форма воздушной каверны, формируемой фурмой 1, представлена на рис. 1 (светлый цвет соответствует 100 % воздуха, темный – 100 % воды, граница раздела этих двух областей соответствует смеси воздуха и воды с различными объемными долями).

В плоскости $y = 0$ (рис. 1, а) каверна эллипсоидная, асимметричная относительно оси z . Асимметрия также наблюдается относительно оси y в плоскости xy , проходящей через транспортирующий канал, и смещена в направлении движения транспортирующего потока (рис. 1, б), тогда как в перпендикулярной к ней плоскости каверна симметрична (рис. 1, в).

С увеличением значения ускоряющего расхода газа в пределах 230-303 см³/с наблюдается изменение формы воздушной каверны: глубина незначительно увеличивается, изменяется ее геометрия. Дно становится более пологим и плоским, а каверна – более широкой (рис. 2, а). На выходе из фурмы в плоскости $y = 0$ (рис. 2, б) радиус воздушной области увеличивается. Также наблюдаются незначительные колебания значений

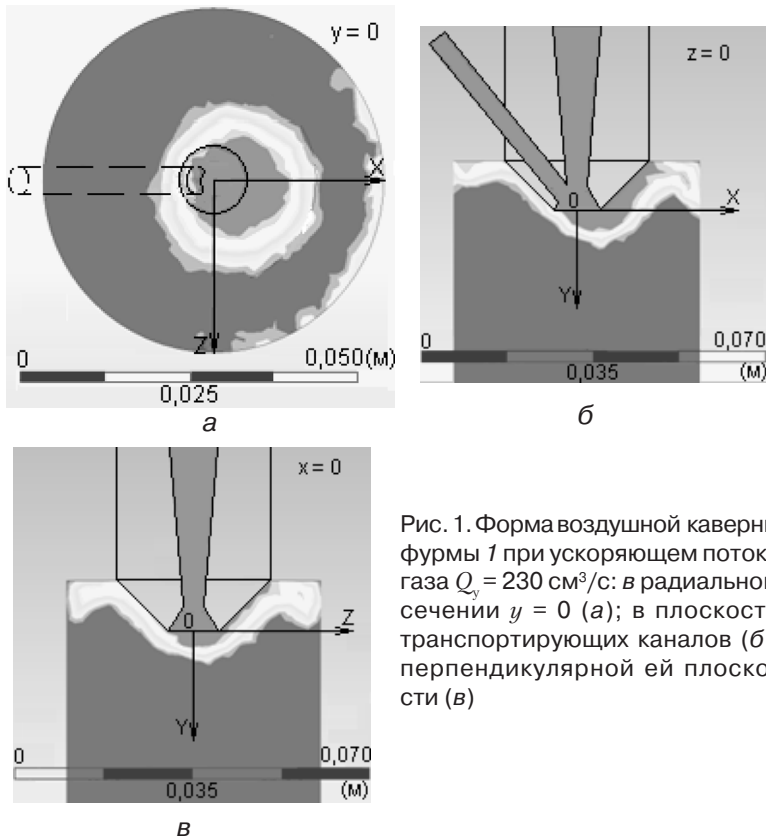


Рис. 1. Форма воздушной каверны формы 1 при ускоряющем потоке газа $Q_y = 230 \text{ см}^3/\text{с}$: в радиальном сечении $y = 0$ (а); в плоскости транспортирующих каналов (б); перпендикулярной ей плоскости (в)

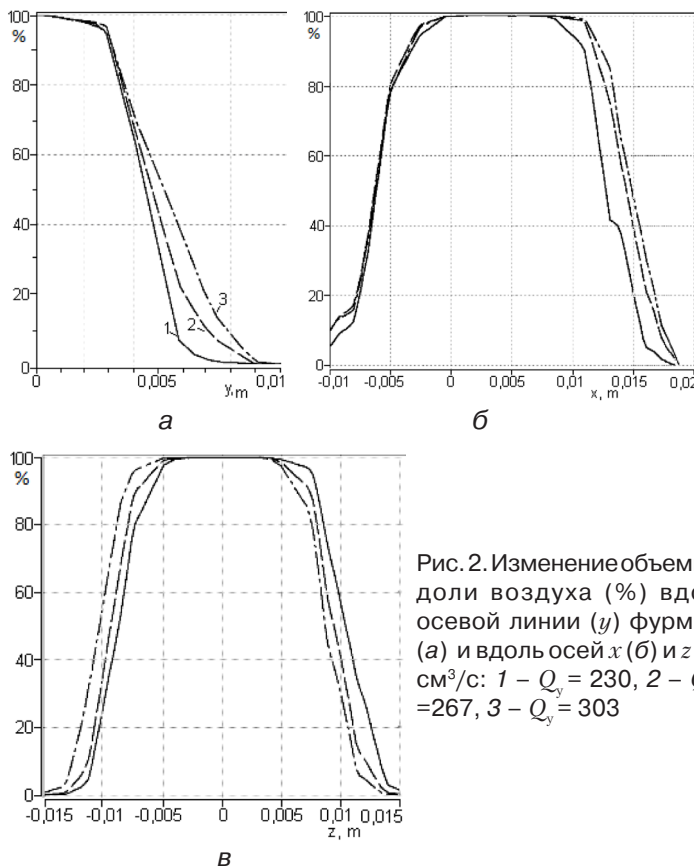


Рис. 2. Изменение объемной доли воздуха (%) вдоль осевой линии (y) формы 1 (а) и вдоль осей x (б) и z (в), $\text{см}^3/\text{с}$: 1 - $Q_y = 230$, 2 - $Q_y = 267$, 3 - $Q_y = 303$

ширины воронки в направлении оси z (рис. 2, в). Оценку размеров рабочей зоны фурм проводили по ее линейному размеру вдоль осевой линии лазерного излучения (глубине), которая для фурмы 1 при выбранных расходах газа составляет 3-4 мм.

В конструкции фурмы 2 порошок подают двумя транспортирующими потоками, расположенными диаметрально противоположно друг другу и под некоторым углом к внутреннему каналу конической формы. Данная геометрия внутреннего канала и наклон транспортирующих трубок используются с целью достижения максимальной симметрии относительно осевой линии фурмы, где зона смешения ускоряющего и транспортирующих потоков и рабочая зона находятся за пределами фурмы.

Для значения $Q_y = 230 \text{ см}^3/\text{с}$ воздушная область в радиальной плоскости $y = 0$ (рис. 3, а) расположена симметрично относительно оси y и по форме близка к окружности. Симметрия также наблюдается во всех сечениях плоскостей, проходящих через ось y (рис. 3, б). Такая форма сохраняется до значений $Q_y \approx 267 \text{ см}^3/\text{с}$ (рис. 4, а). При повышении значения Q_y каверна вытягивается в глубь жидкости, и ее форма меняется: в плоскости, проходящей через транспортирующие каналы, она сужается и приобретает форму, близкую к конической (рис. 3, в); в перпендикулярной плоскости при той же глубине каверна становится более пологой и округлой (рис. 3, г). В этой плоскости присутствует асимметрия.

На выходе из фурмы в плоскости $y = 0$ форма сечения потока приобретает эллипсоидность. В плоскости транспортирующих потоков (вдоль оси x) ширина каверны не меняется (рис. 4, б), а в перпендикулярном направлении – смещается и увеличивается (рис. 4, в).

Повышение ускоряющего потока воздуха приводит к увеличению глубины рабочей области от 7-8 мм при $Q_y = 230\text{-}267 \text{ см}^3/\text{с}$ до 13 мм при $Q_y = 303 \text{ см}^3/\text{с}$ (рис. 4, а).

В фурме 3 для устранения несимметричности каверны, образующейся вследствие пересечения двух противоположно направленных потоков воздуха, транспортирующие каналы расположили по касательной к конической поверхности внутреннего канала. Такое расположение дополнительно способствует формированию вращающегося газопорошкового потока внутри фурмы и на выходе из нее, а также усиливает вращение частиц, улучшая тем самым равномерный поверхностный лазерный нагрев порошинок в рабочей зоне.

Геометрия форм каверны в разных плоскостях сечения для значения $Q_y = 230 \text{ см}^3/\text{с}$ (рис. 5, а, б) аналогична формам каверны, формируемой фурмой 2, и с увеличением расхода воздуха до $267 \text{ см}^3/\text{с}$ не приводит к существенному расширению воздушной области в радиальном сечении, а также не образует эллипсоидность. Однако дальнейшее возрастание расхода газа и турбулентности потока ведет к возникновению периферийных воздушных областей, размеры которых незначительные.

С повышением расхода воздуха до $303 \text{ см}^3/\text{с}$ дно каверны становится более пологим и округлым. На выходе из фурмы в плоскости $y = 0$ каверна несколько расширена в направлении оси x (рис. 6, б) и вследствие турбулизации вращающегося потока смещена вдоль оси z (рис. 6, в).

Глубина рабочей зоны фурмы 3 (рис. 6, а) увеличивается с 8 мм при значении $Q_y = 230 \text{ см}^3/\text{с}$ до 10-11 мм для значений $Q_y = 267\text{-}303 \text{ см}^3/\text{с}$.

Для реализации схемы лазерного облучения частиц порошка внутри фурмы разработана конструкция 4, в которой реализовано вращение транспортирующего потока, а для стабилизации давления на выходе из конического сопла конструкция удлинена.

Исследования показали, что в плоскости продольного сечения фурмы при значениях $Q_y = 230\text{-}267 \text{ см}^3/\text{с}$ формируется каверна, близкая к полусфере (рис. 7, а, в), а с увеличением расхода газа до $Q_y = 303 \text{ см}^3/\text{с}$ она вытягивается в форму конуса с эллипсоидным основанием (рис. 7, б, г).

Глубина каверны с увеличением расхода газа $Q_y = 230$ до $267 \text{ см}^3/\text{с}$ возрастает с

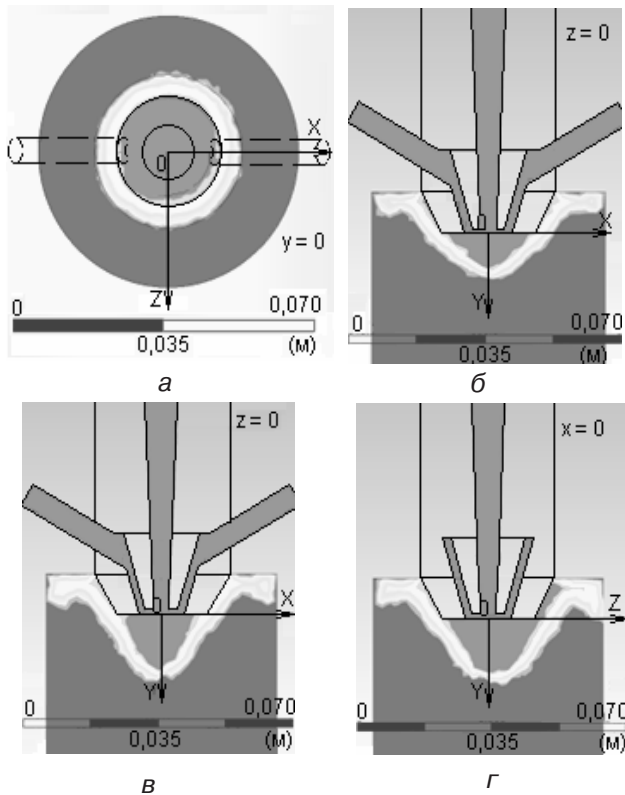


Рис. 3. Форма воздушной каверны в радиальном сечении $y = 0$ фурмы 2 (а) и в плоскости транспортирующих каналов (б) при $Q_y = 230 \text{ см}^3/\text{с}$, а также в плоскости, проходящей через транспортирующие каналы (в), и в перпендикулярной ей плоскости (г) при $Q_y = 303 \text{ см}^3/\text{с}$

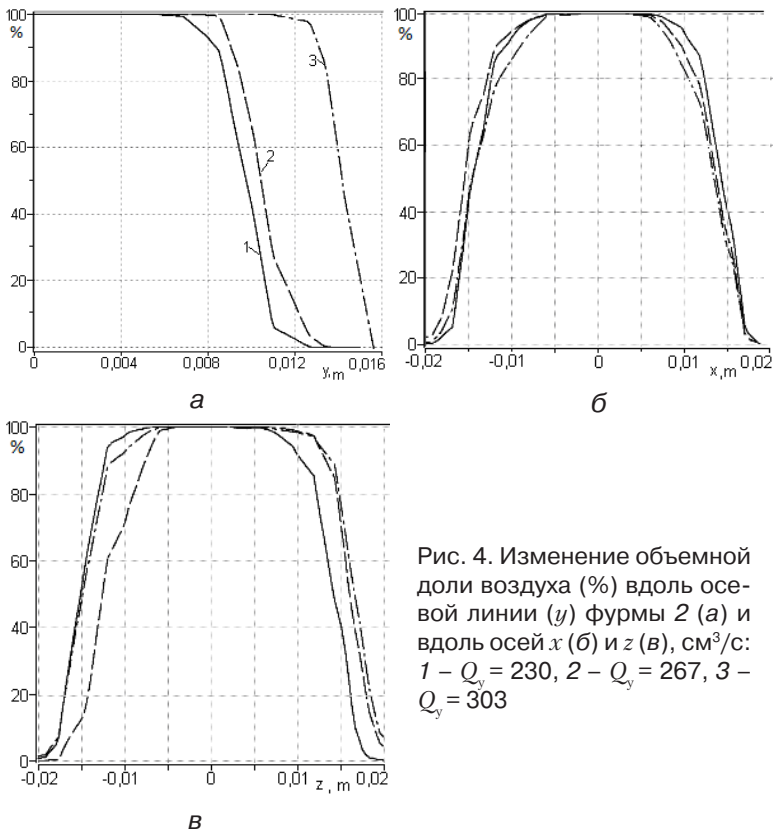


Рис. 4. Изменение объемной доли воздуха (%) вдоль осевой линии (y) фурмы 2 (а) и вдоль осей x (б) и z (в), $\text{см}^3/\text{с}$: 1 – $Q_y = 230$, 2 – $Q_y = 267$, 3 – $Q_y = 303$

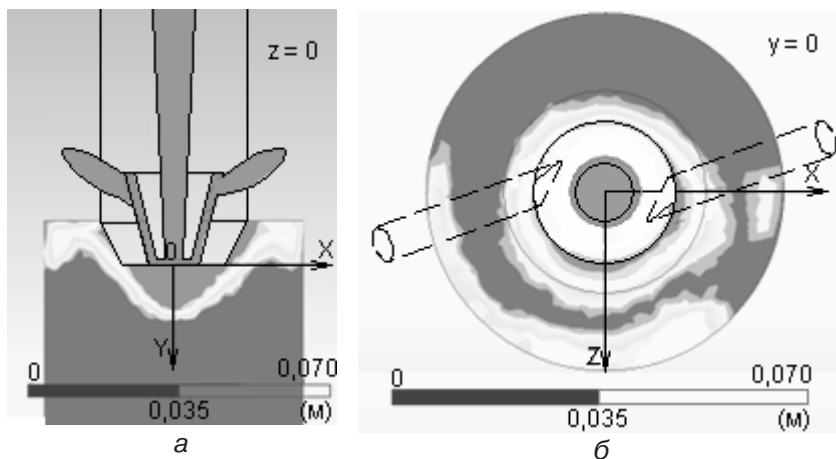


Рис. 5. Форма воздушной каверны в плоскости продольного разреза фурмы 3 (а) и в ее радиальной плоскости $y = 0$ (б) при $Q_y = 230 \text{ см}^3/\text{с}$

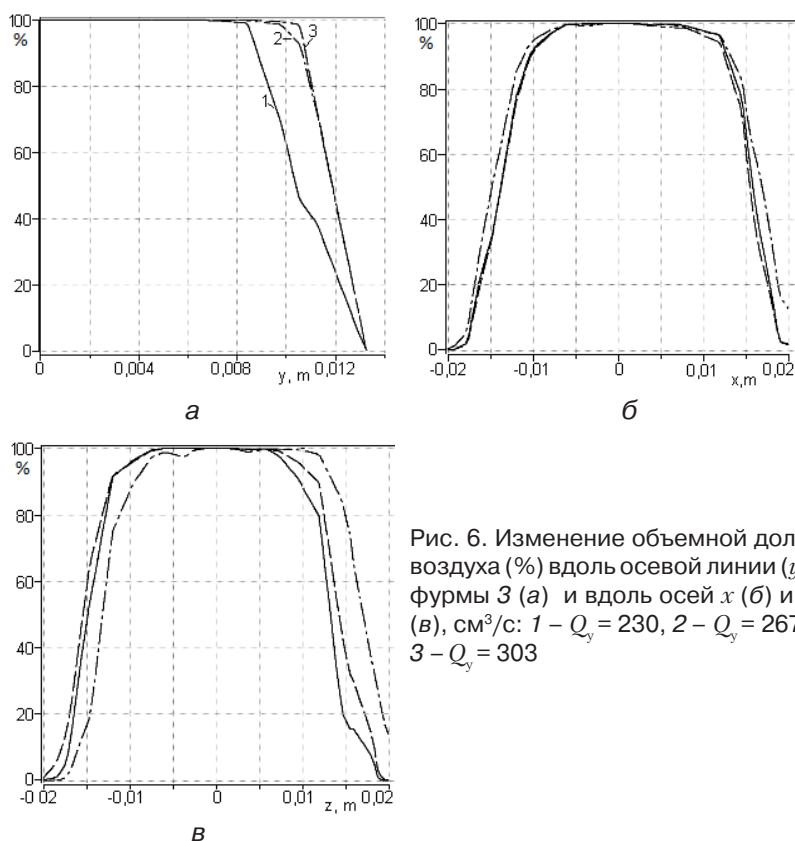


Рис. 6. Изменение объемной доли воздуха (%) вдоль осевой линии (y) фурмы 3 (а) и вдоль осей x (б) и z (в), $\text{см}^3/\text{с}$: 1 – $Q_y = 230$, 2 – $Q_y = 267$, 3 – $Q_y = 303$

27 до 40 мм и при дальнейшем увеличении расхода до $303 \text{ см}^3/\text{с}$ не меняется (рис. 8, а). Но при этом значительно изменяется форма каверны, увеличивается эллипсоидность, что наглядно отражено на рис. 8, б, в.

Глубина рабочей зоны при минимальном значении ускоряющего потока составляет 22-25 мм и достигает 30 мм при увеличении до $Q_y = 267 \text{ см}^3/\text{с}$ (рис. 8, а). В дальнейшем при возрастании расхода газа до $303 \text{ см}^3/\text{с}$ глубина рабочей зоны уменьшается до 20 мм, что обусловлено увеличением турбулентности потока на дне каверны (рис. 8, а).

Конструкция фурмы 5 с удлиненной областью формирования потоков аналогична фурме 4, но с областью смешения потоков и зоны облучения, вынесенной за пределы ISSN 0235-5884. Процессы литья. 2011. № 3 (87)

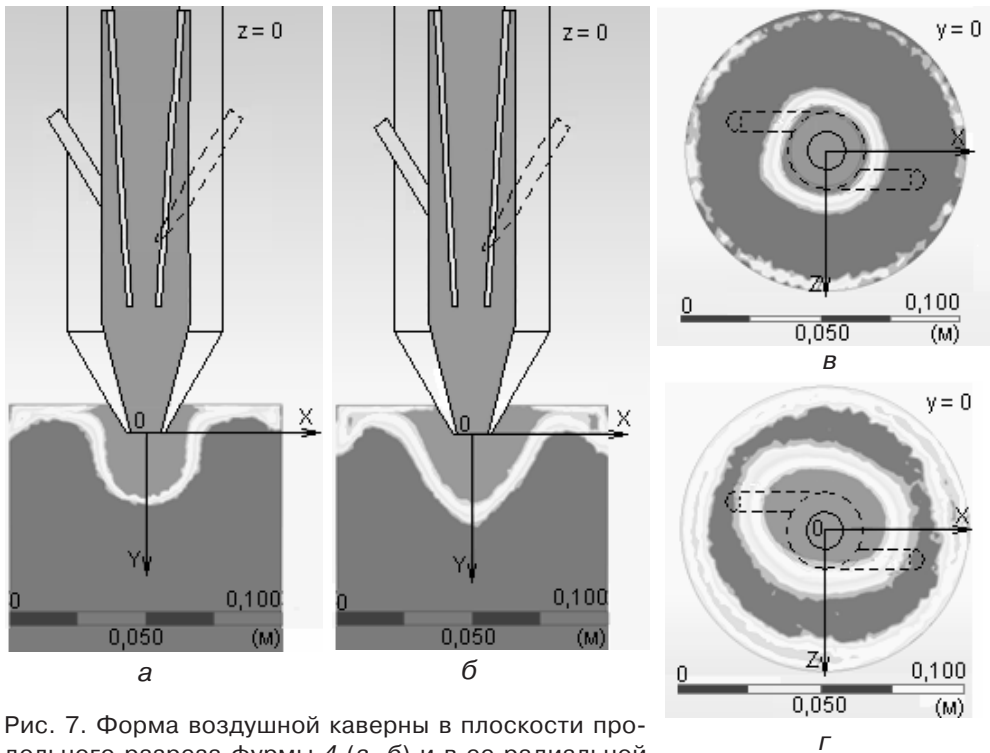


Рис. 7. Форма воздушной каверны в плоскости продольного разреза фурмы 4 (а, б) и в ее радиальной плоскости при $y = 0$ (в, г) при значениях $Q_y = 230$ (а, в), $Q_y = 303$ см³/с (б, г)

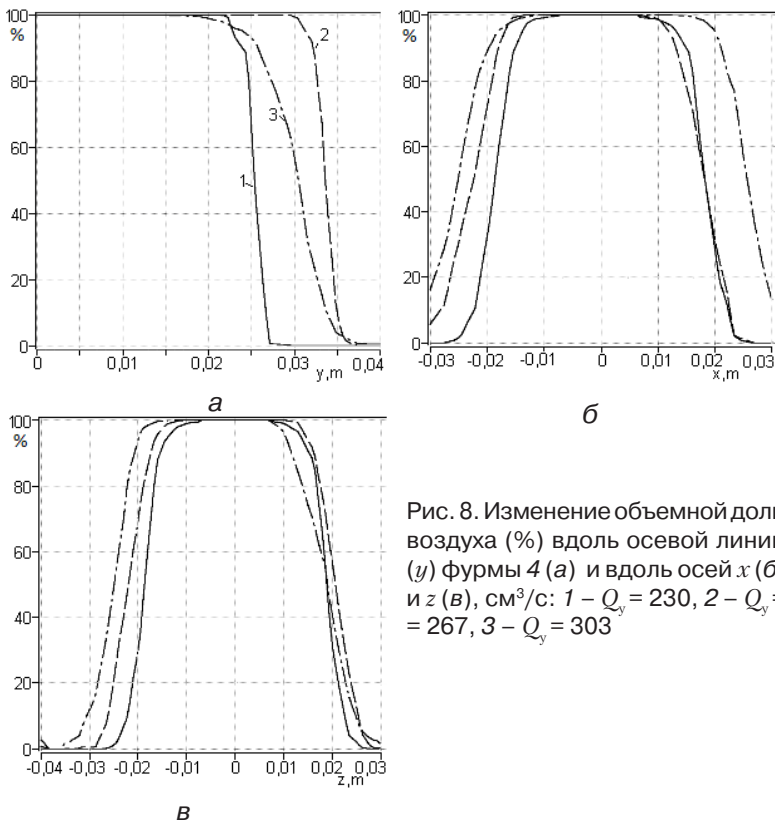


Рис. 8. Изменение объемной доли воздуха (%) вдоль осевой линии (y) фурмы 4 (а) и вдоль осей x (б) и z (в), см³/с: 1 – $Q_y = 230$, 2 – $Q_y = 267$, 3 – $Q_y = 303$

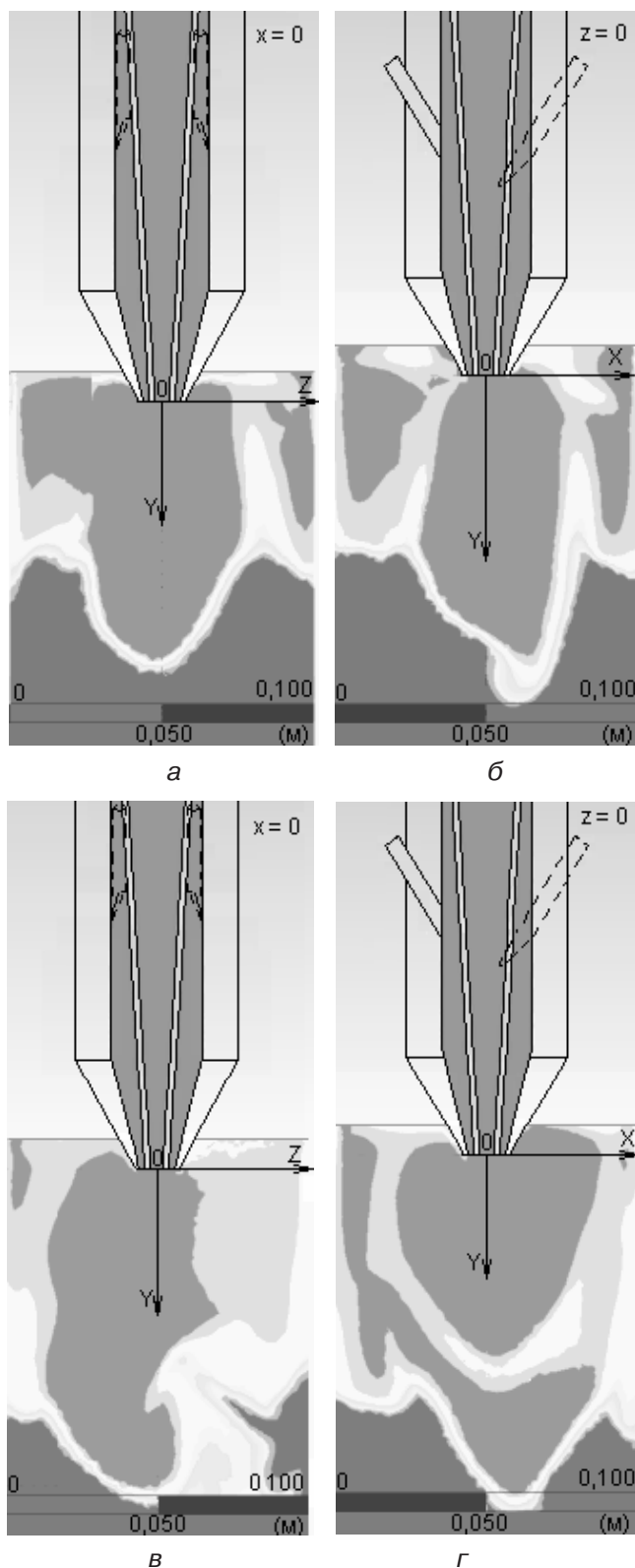


Рис. 9. Форма воздушной каверны формы 5 в плоскостях продольного разреза при значениях $Q_y = 230$ (а, б) и $Q_y = 303$ см³/с (в, г)

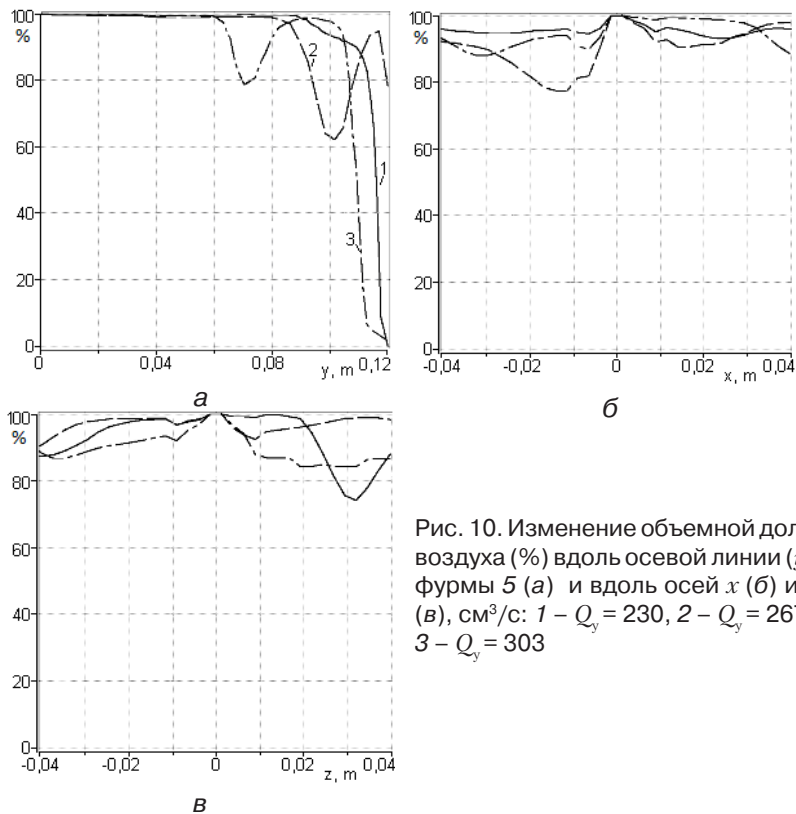


Рис. 10. Изменение объемной доли воздуха (%) вдоль осевой линии (y) фурмы 5 (а) и вдоль осей x (б) и z (в), см³/с: 1 - $Q_y = 230$, 2 - $Q_y = 267$, 3 - $Q_y = 303$

фурмы, как в конструкции 3, при погружении образует более глубокую каверну по сравнению с вышерассмотренными. Эффективная турбулизация потока обеспечивает образование стабильной центральной зоны и вихревых зон по периферии каверны (рис. 9, а, б). Повышение расхода газа дестабилизирует центральную зону каверны (рис. 9, в, г).

При минимальном значении $Q_y = 230$ см³/с глубина рабочей зоны достигает 90 мм, увеличение ускоряющего потока приводит к росту турбулентных течений в области каверны, глубина рабочей зоны уменьшается и составляет 80 мм при $Q_y = 267$ см³/с и 50 мм – при $Q_y = 303$ см³/с (рис. 10, а). В радиальной плоскости на выходе из фурмы наблюдается воздушная область с содержанием воздуха близким к 100 % по всей плоскости с незначительными колебаниями значения объемной доли воздуха (рис. 10, б, в).

Таким образом, получены данные о форме газовых каверн, формируемых различными фурмами, а также о величине рабочей зоны для ряда значений расходов ускоряющего потока воздуха при постоянном расходе транспортирующего газа.

Определили, что более короткие фурмы (1-3) с одним или двумя транспортирующими каналами целесообразно применять для рабочей зоны, глубина которой не превышает 11-13 мм. При потребности расширения диапазона размеров рабочей зоны более эффективно использовать фурмы с удлиненной областью формирования потока (4, 5).

В выбранном диапазоне значений общего расхода газа 230-303 см³/с глубина рабочей зоны для фурмы 1 индифферентна к повышению расхода газового потока. В фурме 2 эффективный рост глубины рабочей зоны наблюдается только в диапазоне значений $Q_y = 267-303$ см³/с. Для фурм 3-5 повышение газовых расходов с целью увеличения глубины рабочей зоны свыше 267 см³/с является нерациональным, так как при дальнейшем увеличении Q_y ее рост для фурмы 3 замедляется, а в фурме 4 глубина начинает уменьшаться. Повышение расхода газа в фурме 5 приводит к

возрастанию турбулентных течений, что обуславливает рост границы раздела двух фаз и уменьшение размера рабочей зоны. Тем не менее, использование фурмы 5 позволяет проводить обработку при меньших расходах с образованием более глубокой каверны.



Список литературы

1. Милошевич Х. Численное моделирование процесса дожигания монооксида углерода при верхней продувке сталеплавильного конвертера // Теплофизика и аэромеханика. – 1999. – Т. 6, № 2. – С. 283-290.
2. Теплообмен в системе взаимодействия двухфазного газолазерного потока с мишенью / В. П. Лихошва, В. Л. Найдек, Е. А. Рейнталь и др. // Процессы литья. – 2009. – № 4. – С. 63-68.
3. Распределение дисперсных частиц в двухфазном газолазерном потоке / В. Л. Найдек, В. П. Лихошва, Е. А. Рейнталь и др. // Металл и литье Украины. – 2009. – № 11-12. – С. 4-7.
4. Моделирование газолазерных потоков при создании оборудования для нагревания дисперсных материалов / В. П. Лихошва, Е. А. Рейнталь, Ф. И. Кирчу и др. // Там же. – 2009. – № 11-12. – С. 77-81.
5. Лихошва В. П., Рейнталь Е. А., Бондарь Л. А., Угрин Л. Е. Воздействие газовых потоков, подаваемых с помощью фурмы, на жидкие среды // Процессы литья. – 2010. – № 6. – С. 64-71
6. Моделирование процессов формирования суспензионных расплавов / В. П. Лихошва, В. Л. Найдек, Е. А. Рейнталь, и др. // Там же. – 2009. – № 3. – С. 11-15.

Поступила 01.11.2010

УДК 669.714

В. Ф. Сороченко, Д. Ф. Чернега, П. Д. Кудь, В. Н. Рыбак

Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ КАРБАМИДА НА СОДЕРЖАНИЕ ВОДОРОДА В ПРОЦЕССАХ РАФИНИРОВАНИЯ ЛИТЕЙНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ. Сообщение 1

Предлагается более простая (на основе уравнения прямой с угловым коэффициентом) математическая модель зависимости увеличения содержания водорода в ЛАС АК7 и АК12М2 от количества карбамида, %.

Ключевые слова: карбамид, математическая модель, водород, алюминиевые сплавы.

Пропонується більш проста (на основі рівняння прямої з кутовим коефіцієнтом) математична модель залежності збільшення вмісту водню у ливарних алюмінієвих сплавах АК7 і АК12М2 від кількості карбаміду, %.

Ключові слова: карбамід, математична модель, водень, алюмінієві сплави.