

УДК 669.154:66.015.24:66-936.3

**В. И. Курпас, В. Л. Найдек, А. А. Сычевский**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

### **ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГАЗЛИФТНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ РАСПЛАВА В УСЛОВИЯХ НИЗКОГО ВАКУУМА**

*Приведены результаты исследования циркуляции расплава через камеру газлифтного реактора под низким давлением.*

**Ключевые слова:** газлифтный реактор, газометаллическая смесь, циркуляция.

*Наведено результати дослідження циркуляції розплаву через камеру газліфтного реактора під низьким тиском.*

**Ключові слова:** газліфтний реактор, газометалева суміш, циркуляція.

*The results of the research of the melts circulation through the chamber of the gaslifting reactor under the low pressure are given in the paper.*

**Keywords:** gaslifting reactor, gas-metallic mixture, circulation.

К настоящему времени накоплен большой опыт использования в процессах ковшовой металлургии газлифтного эффекта и вакуумирования. На базе газлифтных систем создаются специальные металлургические реакторы для внепечной обработки металла [1]. Локализация обработки вакуумом в ограниченном объеме газлифтного реактора может резко повысить эффективность использования реагентов и обеспечить комплексное рафинирование металла в процессе одной обработки.

Учитывая, что в газлифтных реакторах могут быть осуществлены практически все операции по рафинированию металла, важным представляется изучение закономерностей протекания гидродинамических процессов при газлифтной транспортировке металлического расплава через реакционную камеру под низким давлением. Решающее значение здесь приобретает физическое моделирование, так как пока нет таких аналитических решений дифференциальных уравнений гидродинамики двухфазных сред, какими являются газометаллические потоки в газлифтных системах.

С учетом допущения, что в целом все взаимодействия в двухфазном потоке для каждой его области описываются теми же уравнениями, что и в среде с одной поверхностью раздела, физические процессы в газлифтной системе определяются следующими критериями и симплексами [2]:

$$Re_C = U_M d / \nu_M + U_\Gamma d / \nu_\Gamma;$$

$$Fr_C = U_C^2 / (g d);$$

$$We_C = \sigma / (g d^2 (\rho_M - \rho_\Gamma));$$

$$\beta = U_\Gamma / U_C;$$

$$\rho = \rho_M / \rho_\Gamma;$$

$$\mu = \mu_M / \mu_\Gamma,$$

где  $Re$  – критерий Рейнольдса;  $Fr$  – критерий Фруда;  $We$  – критерий Вебера;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости,  $m^2/c$ ;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости,  $Pa \cdot c$ ;  $\sigma$  – коэффициент межфазного поверхностного натяжения,  $Dж/m^2$ ;  $U$  – приведенная скорость (отношение объемного расхода к площади сечения канала подъемной колонны газлифта),  $m/c$ ;  $d$  – диаметр канала,  $m$ ;  $\beta$  – объемное расходное газосодержание потока;  $g$  – ускорение силы тяжести,  $m/c^2$ ;  $\rho$  – плотность,  $кг/m^3$ ; индексы:  $M$  – металл,  $\Gamma$  – газ,  $C$  – газометаллическая смесь.

Равенство записанных критериев и безразмерных параметров для модели и натуре гарантирует с известным допущением точное моделирование направленных газометаллических потоков в газлифтных системах.

Изучение циркуляции жидкого металла с использованием газлифтных систем, в которых реакционная камера находится под низким вакуумом, проводили на прозрачной модели (рис. 1), изготовленной по отношению к образцу в натуральном масштабе. В качестве моделирующей расплава среды использовали воду, а моделирующей, транспортирующей аргон, – воздух. Выбором объемных расходов воздуха и воды, равных соответственно объемным расходам аргона и расплава, обеспечили равенство критериев Рейнольдса и Фруда в образце и на модели. Значения критерия  $We$  для натуре и модели отличались в 1,9 раза. Более существенное различие безразмерной плотности нивелировали путем увеличения диаметра сопла фурмы ( $d_o$ ) на модели в 1,5 раза по сравнению с образцом в соответствии с условием равенства для модели и натуре критерия Архимеда [3]

различия безразмерной плотности нивелировали путем увеличения диаметра сопла фурмы ( $d_o$ ) на модели в 1,5 раза по сравнению с образцом в соответствии с условием равенства для модели и натуре критерия Архимеда [3]

$$Ar = \rho_\Gamma U_{\Gamma O}^2 / (\rho_M g d_o),$$

где  $U_{\Gamma O}$  – скорость газа на выходе из сопла.

Расход воздуха, подаваемого от ресивера в нижнюю часть подъемной колонны, измеряли ротаметрами и газовым счетчиком, расход транспортируемой газлифтом воды – мерной емкостью, а разрежение в реакционной камере –  $U$ -образным манометром. Все измерения производили при относительной глубине погружения подъемной колонны ( $a = 0,58$ ).

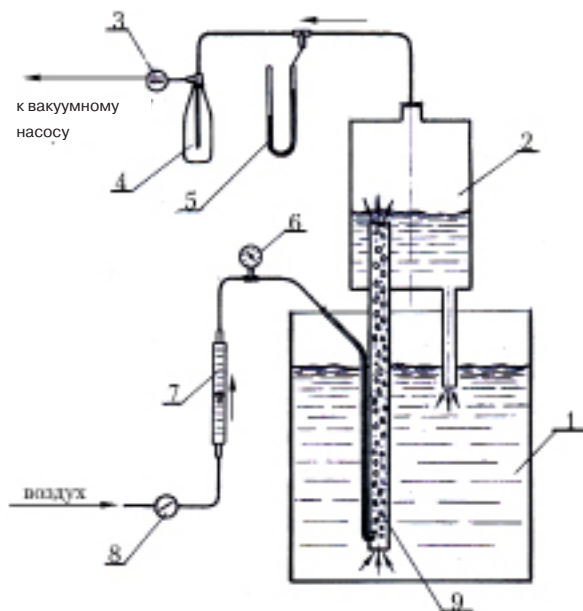


Рис. 1. Схема физической модели: 1 – емкость с водой; 2 – реакционная камера; 3 – вакуумный вентиль; 4 – влагоотделитель; 5 –  $U$ -образный манометр; 6 – манометр; 7 – ротаметр; 8 – регулирующий вентиль; 9 – подъемная колонна газлифта

Эксперименты на физической модели проводили следующим образом. В реакционной камере создавали разрежение, в результате чего вода из приемной емкости через подъемную колонну и заглубленный сливной патрубок поступала в камеру. При достижении уровня воды в камере 0,14 м в работу включали газлифт, подавая воздух из ресивера в подъемную колонну. В зависимости от объемного расхода газа изменяли скорость его эвакуации из камеры, открывая вакуумный крана и поддерживая неизменным уровень воды. Производительность вакуумного насоса позволяла варьировать объемным расходом газа до 10 м<sup>3</sup>/ч.

В каждой серии опытов постоянными параметрами были степень разрежения и уровень жидкости в реакционной камере, переменными – объемный расход транспортирующего газа и диаметр канала в сливном патрубке. Расход транспортирующего газа определяли экспериментально. Производительность газлифта при заданном диаметре канала в сливном патрубке ( $d_n$ ) рассчитывали по уравнению

$$Q = 0,25 \varepsilon \pi d_n^2 (2g h_m)^{0,5},$$

где  $Q$  – объемный расход жидкого металла, м<sup>3</sup>/с;  $\varepsilon = 0,82$  – расходный коэффициент;  $h_m$  – высота расплава в реакционной камере, м.

Результаты проведенных опытов представлены на рис. 2, из которого видно, что создаваемый в камере низкий вакуум способствует повышению интенсивности циркуляции жидкости через реакционную камеру при одном и том же объемном расходе транспортирующего газа. С понижением остаточного давления в камере производительность газлифта возрастает при прочих равных условиях. Это обусловлено повышением гидростатического давления, под действием которого происходит истечение расплава из сливного патрубка.

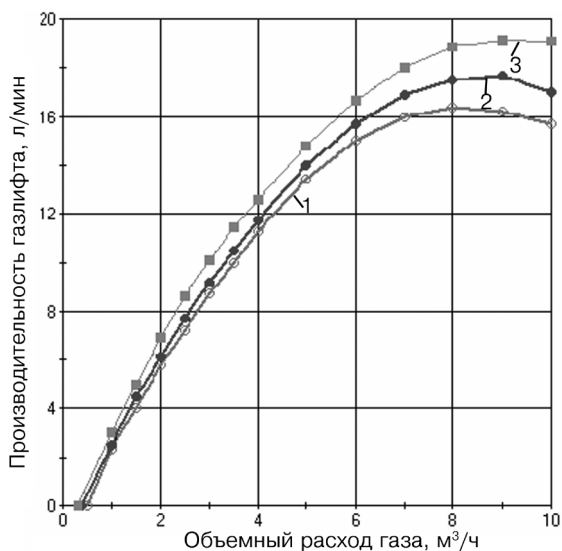


Рис. 2. Зависимость производительности газлифта от объемного расхода транспортирующего газа и остаточного давления в реакционной камере, в кПа: 1 –  $P = 101,3$ ; 2 –  $P = 99,05$ ; 3 –  $P = 97,38$



### Список литературы

1. Достижения и перспективы развития внепечной обработки стали // Сталь на рубеже столетий / Под ред. Ю. С. Карабасова. – М.: МИСиС, 2001. – С. 263-291.
2. Гидродинамика газожидкостных смесей в трубах / В. А. Мамаев, Г. Э. Одишария, И. И. Семенов и др. – М.: Недра, 1969. – 208 с.
3. Казанцев И. Г. Исследование динамики газообразной струи, втекающей в жидкость. – М.: Металлургиздат, 1952. – С. 56-67.

Поступила 17.09.2010