

**В. Л. Найдек, В. П. Лихошва, Е. А. Рейнталь, Ф. И. Кирчу \*,  
А. П. Шатрава, Л. А. Бондарь, В. П. Сердобольская \*\*,  
А. Н. Тимошенко**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

\*Национальный авиационный университет, Киев

\*\*Украинский морской институт, Севастополь

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ В ДВУХФАЗНОМ ГАЗОЛАЗЕРНОМ ПОТОКЕ

*Рассмотрены вопросы моделирования траекторий движения частиц в газолазерном потоке. Исследованы конструкции фурм для подачи сыпучих материалов. Определены профили областей распределения частиц порошкового материала на поверхности подложки.*

**Ключевые слова:** *фурма, область распределения, дисперсные частицы, газолазерный поток.*

Применение лазерной энергии обусловлено возможностью подвода и управления энергией высокой плотности, короткого времени нагрева дисперсных частиц до необходимых температур, что особенно важно при подаче сыпучих материалов в скоростных газовых потоках. Необходимым условием минимизации энергетических затрат лазерного облучения порошковых материалов в процессах наплавки, напыления и получения композиционных материалов является обеспечение однородности нагрева всего объема порошкового материала при снижении потерь на рассеивание энергии. Важной задачей управления этими процессами следует считать равномерность распределения и дозирования лазерной энергии, приходящуюся на каждую частицу, при максимальном поглощении лазерной энергии частицами в газолазерном потоке.

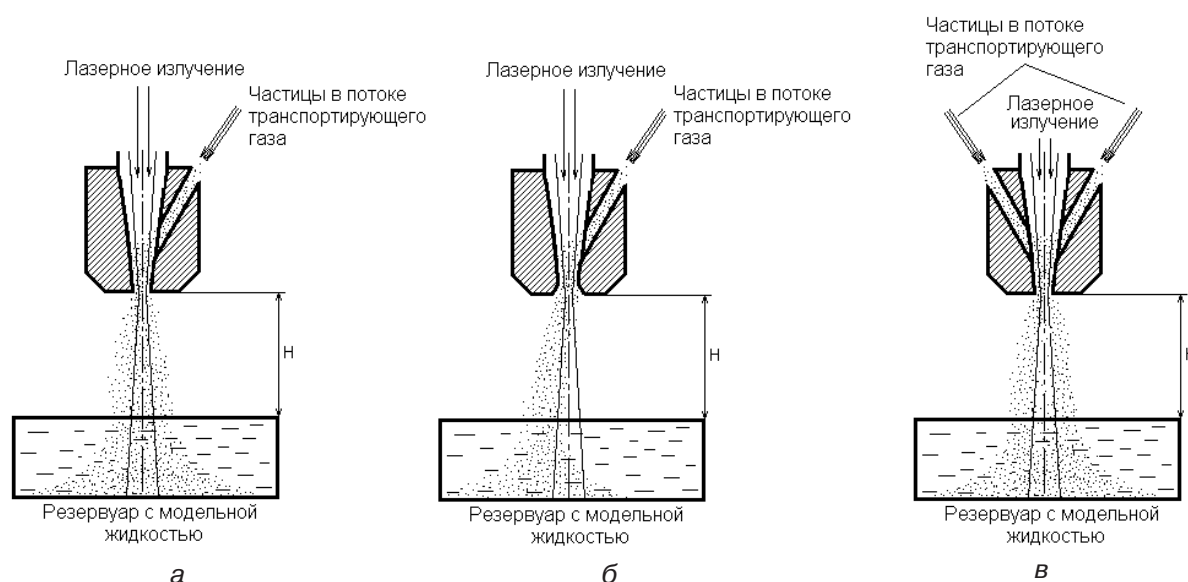
Подача порошковых материалов в зону обработки в таких процессах как лазерное легирова-

ние и газопорошковая лазерная наплавка, в основном осуществляется несоосно с лазерным излучением [1]. К недостаткам такого способа можно отнести дополнительные потери используемого порошка в процессе облучения и неравномерный нагрев всего объема подаваемого сыпучего материала, что обусловлено несовершенствами устройств для подачи порошка в зону обработки.

Исходя из этого были сформулированы следующие задачи исследования:

- изучить конструкции устройств (фурм), используемых для подачи и лазерного нагрева порошковых материалов в газовом потоке;
- промоделировать траектории движения частиц в фурме и на выходе из нее;
- определить профили областей распределения порошковых материалов на поверхности подложки.

В процессе экспериментальных исследований опробованы конструкции фурм, представленные на рис. 1. Выбор фурм обусловлен спецификой



**Рис. 1.** Схема установки для проведения экспериментов с применением фурмы: № 1 (а); № 2 (б); № 3 (в)

получения новых материалов с применением лазерной обработки.

Выходная часть конструкции фурмы № 2 (рис. 1, б) в отличие от фурмы № 1 (рис. 1, а) выполнена в виде диффузора, в конструкции № 3 (рис. 1, в) подача порошковых материалов осуществляется с двух сторон. Конструкция фурмы № 4 (на рисунке не представлена) отличается от фурмы № 3 тем, что транспортирующий поток развернут в пространстве и направлен под некоторым углом к вертикальной оси, а также и по касательной к образующей конуса. Это обеспечивает закручивание газопорошкового потока относительно оси фурмы.

Частицы порошка в потоке транспортирующего газа подавались в внутренний канал фурм, где ускорялись дополнительным потоком газа соосно с лазерным лучом. В результате наложения двух потоков формировался газопорошковый поток, характерный для каждой из фурм.

С целью визуального наблюдения области распределения сыпучих материалов после выхода из подающего устройства на расстоянии  $H$  от нижнего края фурмы до поверхности модельной жидкости располагали резервуар с модельной жидкостью. Поверхность жидкости в данном случае служит такой горизонтальной преградой для порошкового материала, где частицы теряют свою скорость и при попадании в жидкость начинают двигаться вертикально вниз без изменения траектории в горизонтальной плоскости. Это дает возможность зафиксировать положение каждой частицы на некотором расстоянии  $H$  от выхода из фурмы. К тому же варьирование величины  $H$  является существенным вследствие того, что изменение этого параметра дает возможность увеличить или уменьшить время нахождения частицы в зоне обработки и, следовательно, влиять на температуру нагрева частицы лазерным излучением [2]. Экспериментально установлено, что характерные изменения профилей областей распределения частиц порошка в пространстве наблюдаются при значениях параметра  $H$ , находящихся в пределах 15÷33 мм.

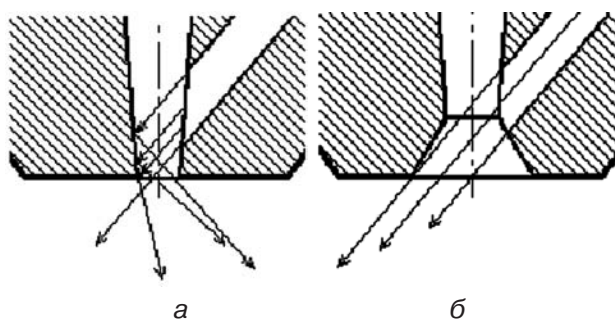
В качестве сыпучих материалов использовали порошок оксида железа фракции 100÷200 мкм и стальной порошок 9X18 фракции 100÷315 мкм. Области распределения частиц порошка наблюдали в воде. Такой выбор модельной жидкости обусловлен равенством динамических вязкостей воды и применяемых расплавов вблизи их температуры плавления. Подача порошка осуществлялась в течение 2-х мин. Размер внутреннего конусообразного канала фурм обусловлен апертурой сфокусированного лазерного луча и условием свободного его прохождения через канал.

Для определения профилей областей распределения частиц подаваемого порошка были проведены модельные эксперименты.

Применение фурмы № 1 (рис. 1, а) дает возможность формировать газопорошковый поток с областью распределения частиц на подложке га-

уссового типа при любых значениях параметра  $H$  (рис. 3, а; 4, а; 5, а). Распределение интенсивности применяемого нами лазерного излучения также имеет характер гауссового типа и при аналогичном характере распределения частиц в процессе движения может представлять некое преимущество. С определенной долей уверенности можно говорить о получении каждой частицей, независимо от места ее положения в потоке, одинакового количества энергии. Однако данное предположение возможно только при полном пространственном совпадении газопорошкового и лазерного потоков.

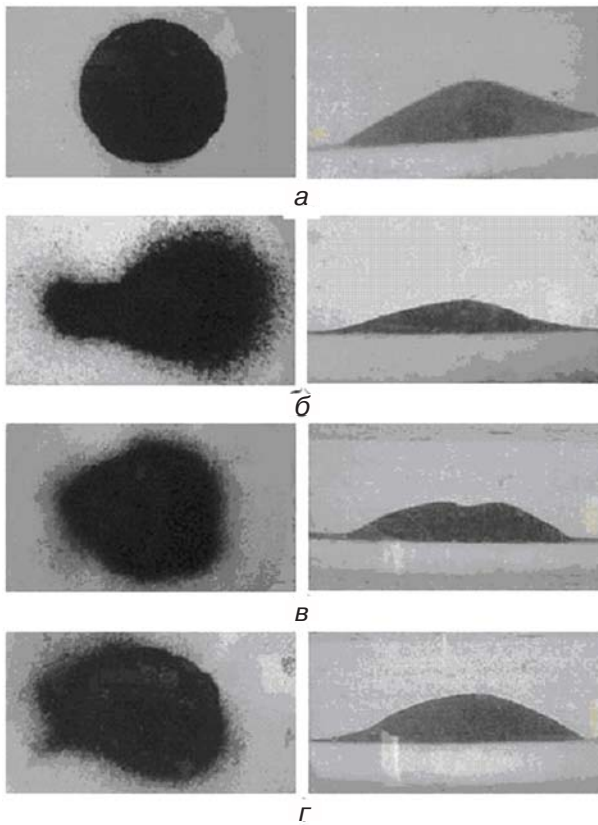
Другим условием равномерного нагрева каждой частицы в газопорошковом потоке является сообщение ей вращательной составляющей скорости движения. Исходя из этого, угол наклона подачи порошковых материалов в фурме № 1 (рис. 1, а) выбирался таким образом, чтобы частицы до момента их вылета из фурмы дополнительно ударялись о стенки канала (рис. 2, а).



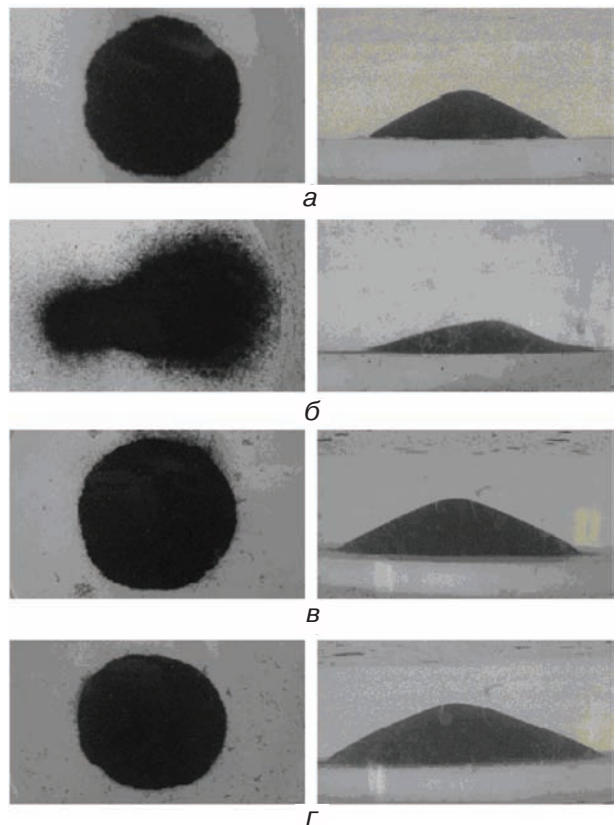
**Рис. 2.** Траектория движения частиц порошка в фурме № 1 (а) и № 2 (б) без учета вектора скорости потока ускоряющего газа

Проведенные эксперименты показали, что использование данного типа подающего устройства (рис. 1, а, фурма №1) создает определенные трудности в процессе длительной эксплуатации за счет ухудшения пропускающей способности подаваемых сыпучих материалов на выходе из фурмы. Предполагается, что именно вследствие соударения частиц порошка о стенки внутреннего канала происходит существенное их торможение, особенно в случае, когда тонкий поверхностный слой частицы оплавлен и при соприкосновении со стенкой частица тормозится или заливает. Это ведет к перегреву частиц и дальнейшему зарастанию канала в виде наплавки на стенке. Особенно это присуще неметаллическим частицам, которые, по сравнению с металлическими, отличаются меньшей плотностью и более высокой поглощательной способностью лазерного излучения.

Фурма № 2 (рис. 1, б) достаточно широко используется в процессах наплавки именно вследствие устранения возможности зарастания выходного канала. В результате также были получены профили распределения порошковых материалов гауссового типа (рис. 3, б; 4, б; 5, б), однако характерными для данной конструкции являются смещение пика от центрального положения и увеличение площади покрытия. Частично это обусловлено недостаточной величиной расхода ускоря-



**Рис. 3.** Профили областей распределения частиц порошка 9X18 в воде (виды сверху и сбоку) при  $H = 33$  мм: фурма № 1 (а), № 2 (б); № 3 (в); № 4 (г)



**Рис. 4.** Профили областей распределения частиц порошка 9X18 в воде (виды сверху и сбоку) при  $H = 15$  мм: фурма №1(а); № 2 (б); № 3 (в); № 4 (г)

ющего газа, который в нашем случае ограничен по верхнему пределу определенным значением [3]. К недостаткам данной конструкции следует отнести неполное перекрытие газопорошкового потока лазерным излучением, что не обеспечивает равномерность нагрева всего объема сыпучего материала, а также возможное отсутствие вращения частиц в процессе обработки.

Уменьшение расстояния до мишени (величины  $H$  до 15 мм) практически не отражается ни на высоте пика, ни на размерах площади покрытия, формируемой фурмами № 1, 2 как для металлического порошка (рис. 3, а, б; 4, а, б), так и неметаллического (рис. 5, а, б).

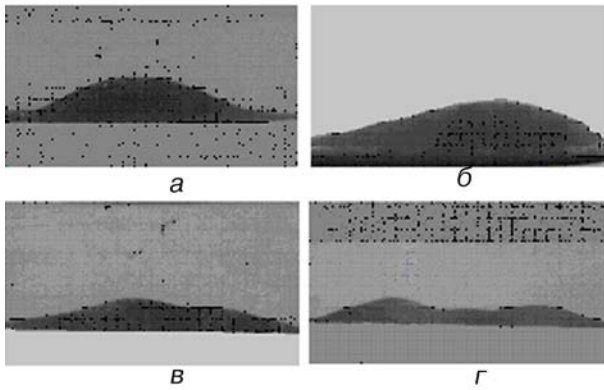
Данные о высоте пика и размерах площади покрытия, полученные на фурме № 3 для металлического порошка показывают, что на расстоянии  $H = 33$  мм частицы образуют область с двумя пиками (рис. 3, в; 4, в), контуры более размыты по сравнению с фурмой № 1. Еще более это выражено для неметаллического порошка (рис. 5, в). С уменьшением  $H$  до 15 мм значительно снижается размытость пятна контакта и увеличивается высота пика. Это связано с тем, что частицы порошка, пролетая меньшее расстояние от фурмы до поверхности модельной жидкости, испытывают меньшее сопротивление со стороны окружающей воздушной среды и обладают большим запасом кинетической энергии. Для вращающегося потока, формируемого фурмой № 4, область распределения металлических частиц на расстоянии от мишени  $H = 15$  мм отличается от результатов, полученных на предыдущих фурмах,

меньшей площадью пятна контакта с модельной жидкостью, меньшей размытостью и большей высотой пика. Раздвоение пика не происходит даже на расстоянии  $H = 33$  мм.

Однако в случае более легкого и мелкодисперсного порошка оксида железа его частицы уже за более короткий промежуток времени подачи ( $t = 15$  с), имеют более обширную область распределения, а за время 2 мин – покрывают всю поверхность дна резервуара с модельной жидкостью. При этом, варьируя величину  $H$ , снижения разброса частиц порошка  $Fe_2O_3$  в центре резервуара при помощи подающих устройств № 3-4 добиться не удалось (рис. 5, в, г).

Таким образом, увеличение расстояния  $H$  с одной стороны приводит к увеличению времени нахождения частицы под лазерным лучом, тем самым, способствуя росту ее температуры нагрева. С другой стороны это ведет к тому, что с возрастанием пути пролета частиц до поверхности модельной жидкости направление их движения все более отклоняется от вертикального. В результате частицы порошка распыляются в стороны, не попадая в область действия лазерного луча, что приводит к неоднородности нагрева всего объема подаваемого материала. Следовательно варьирование величиной пробега частиц до поверхности жидкости (расплава)  $H$  позволяет управлять областью распределения частиц в зависимости от состава и дисперсности подаваемых порошков, вида модельной жидкости только в некотором узком диапазоне значений  $H$ .

Результаты проведенных экспериментальных



**Рис. 5.** Профили областей распределения частиц порошка  $Fe_2O_3$  в воде (виды сбоку) при  $H = 33$  мм: фурма № 1 (а); № 2 (б); № 3 (в); № 4 (г)

исследований показали, что факторами, способствующими решению задачи точной фокусировки потока частиц в область обработки лазерным излучением с целью формирования газопорошкового

потока, отвечающего условию однородности нагрева всего объема порошковой составляющей, являются обеспечение частице вращательного движения вокруг собственной оси и вихреобразного вращения всего выходного двухфазного потока, а также снижения возможности соприкосновений частиц со стенками канала фурмы в области лазерного облучения частиц.

Для более полного понимания процесса формирования газопорошкового потока в канале фурмы, определения факторов, влияющих на форму профилей областей распределения частиц порошка в пространстве, степень закручивания потока и другие, необходимо расширить визуализацию процесса. Примененные расчетные методы моделирования, основанные на аналитических и эмпирических соотношениях в сочетании с экспериментальными, необходимо дополнить численными методами исследования газового потока.



#### ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьянц А. Г. Основы лазерной обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1989. – 302 с.
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. Моделирование процессов формирования суспензионных расплавов / В. П. Лихошва, В. Л. Найдек, Е. А. Рейнталь и др. // Процессы литья. – 2009. № 3. – С. 11-14.

НАЙДЕК В. Л., ЛИХОШВА В. П., РЕЙНТАЛЬ О. О., КИРЧУ Ф. І., ШАТРАВА О. П., БОНДАР Л. А., СЕРДОБОЛЬСЬКА В. П., ТИМОШЕНКО А. М. Розподіл дисперсних частинок у двофазному газолазерному потоці

*Розглянуто питання моделювання траєкторій руху частинок в газолазерному потоці. Досліджено різні конструкції фурм для подачі сипких матеріалів. Визначено профілі областей розподілу частинок порошкового матеріалу на поверхні підкладки.*

**Ключові слова:** фурма, область розподілу, дисперсні частинки, газолазерний потік

NAYDEK V., LIKHOSHVA V., REYNTAL E., KIRCHU F., SHATRAVA A., SERDOBOLSKAYA V., TIMOSHENKO A. Distribution of disperse particles in dysphasic gas-laser stream

*Questions of design of particles motion trajectories in a gas-laser stream are considered. Various constructions of tuyers for the serve of friable materials are investigated. Profiles of areas of powder material particles distribution on a substrate surface are defined.*

**Keywords:** tuyer, distribution area, disperse particles, gas-laser stream