

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ

П.А. Лыков, К.А. Бромер, В.Е. Рошин, С.А. Брындин

DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF GETTING SUPERDISPERSED METALLIC POWDERS

P.A. Lykov, K.A. Bromer, V.E. Roshin, S.A. Bryndin

Проведены расчеты технологических параметров процесса получения металлических порошков, справедливость которых подтверждена экспериментальными данными.

Ключевые слова: ультрадисперсные металлические порошки, фракционный состав, форма частиц.

Technological characteristics of processes of getting metallic powders have been calculated and proved by experiment data.

Keywords: two-superdispersed metallic powders, fractional composition, firm of particles.

Помимо традиционных способов получения деталей (литье, ковка, штамповка) появляются новые. Одним из таких способов является метод, позволяющий получать детали со сложнейшей геометрией, при этом за счет исключения последующей обработки использовать практически 100 % материала. Данный метод представляет собой процесс послойного лазерного сплавления металлических порошков. Основными требованиями к порошкам являются узкие пределы гранулометрического состава и сферическая форма частиц. За последние годы метод лазерного сплавления по 3D-модели получает распространение в России и СНГ, между тем оборудование и расходные материалы поставляются зарубежными производителями.

В связи с этим в университете разработана установка распыления металлов УРМ-001, предназначенная для получения дисперсных металлических порошков размером порядка 50 мкм.

Целью работы является определение технологических параметров процесса диспергирования жидкого расплава и получение металлического порошка размером менее 50 мкм. В качестве распыляемого материала использовали литейный марганцевый чугун.

Рассматривая перегретые металлические расплавы как типично ньютоновские жидкости, взаимодействие газового потока с высоконапорной струей можно в общем случае выразить некоторой критериальной зависимостью [1]:

$$\frac{d_k}{D} = f(We, Lp, M, N), \quad (1)$$

где d_k и D – размеры конечной и начальной капли расплава; We – критерий Вебера (характеризует отношение аэродинамического напора к силам

поверхностного натяжения); Lp – критерий Лапласа (характеризует отношение инерционных сил вязкости и поверхностного натяжения); M и N – критерии, характеризующие соотношение плотностей и вязкости расплава и энергоносителя.

Критерий Вебера

$$We = \frac{W^2 \rho_{ж} d_k}{\sigma_{ж}}, \quad (2)$$

где W – скорость газа вблизи поверхности капли; $\rho_{ж}$ – плотность расплава; d_k – диаметр частицы расплава; $\sigma_{ж}$ – коэффициент поверхностного натяжения расплава.

Критерий Лапласа

$$Lp = \frac{\mu_{ж}^2}{\rho_r \sigma_{ж} d_k}, \quad (3)$$

где $\mu_{ж}$ – динамическая вязкость расплава; ρ_r – плотность газа.

Число Лапласа для удобства можно выразить с помощью чисел Вебера и Рейнольдса ($Lp = Re^2 / We$), тогда классификация режимов разрушения капель представляется следующей.

1. При $4 \leq We < 20$ и $0,1 \leq WeRe^{-0,5} \leq 0,8$ – простое деление на 2–4 капли, разрушение «сумки» и хаотическое дробление, при которых размер вторичных капель близок (по порядку величины) к размеру основных.

2. При $10 \leq We \leq 10^4$ и $0,5 \leq WeRe^{-0,5} \leq 10$ – разрушение капель со срывом поверхностного слоя, дающего очень мелкие капли наряду с крупными каплями, отделяющимися от первоначальной капли.

3. При $10^3 \leq We \leq 10^5$ и $10 \leq WeRe^{-0,5} \leq 100$ – взрывной распад, при котором образуются капли значительно мельче первоначальной.

На основании обобщенных результатов рас-

четов и экспериментов согласно [1] значение критерия Вебера для металлических расплавов может составлять $We_{кр} = 15,0 \dots 16,0$, другими словами, распыление возможно по второму режиму.

Критическая скорость, необходимая для получения капли размером d_k , рассчитывается по формуле [1]

$$W_{кр} = \sqrt{\frac{We_{кр} \sigma_m}{c_f \rho_r d_k}}, \quad (4)$$

где $We_{кр}$ – критическое значение критерия Вебера; c_f – коэффициент лобового аэродинамического сопротивления; ρ_r – плотность газа; σ_m – коэффициент поверхностного натяжения расплава; d_k – диаметр получаемой капли.

Известно [3], что плотность воздуха при атмосферном давлении составляет $\rho_r = 1,293 \text{ кг/м}^3$. Коэффициент поверхностного натяжения для чугуна согласно [2] при $1450 \text{ }^\circ\text{C}$ составляет $1150 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$. Коэффициент лобового аэродинамического сопротивления c_f принимаем равным 1. Необходимый размер капли 50 мкм. Тогда

$$W_{кр} = \sqrt{\frac{16 \cdot 1150 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 1,293 \cdot 5 \cdot 10^{-5}}} = 533 \text{ м/с}. \quad (5)$$

При данной скорости расчетный размер частиц будет равен 50 мкм.

С помощью (4) выражаем d_k как функцию скорости движения газовой струи:

$$d_k = \frac{We_{кр} \sigma_m}{c_f \rho_r W^2}. \quad (6)$$

С помощью (6) рассчитан средний диаметр частиц порошка в зависимости от скорости газовой струи (рис. 1).

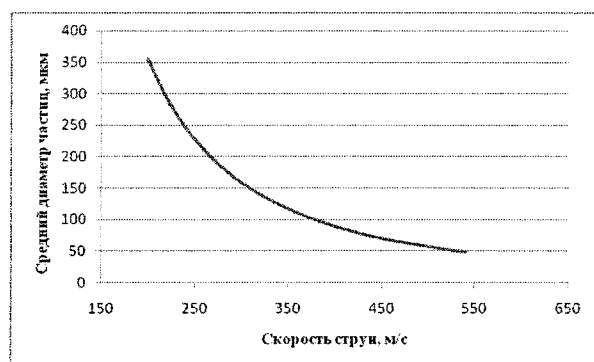


Рис. 1. Зависимость диаметра частиц от скорости распыляющего газа

Установка УРМ-001 позволяет получать скорость струи равную 200 м/с, что согласно графику позволит получать порошок с размером частиц 350 мкм.

Кроме параметров струи на свойства получаемого порошка влияет температура расплава. В табл. 1 показана зависимость поверхностного натяжения чугуна от температуры [2], а также расчетная зависимость размера частиц получаемого порошка от температуры расплава, полученная с помощью (6).

Таблица 1
Зависимость поверхностного натяжения чугуна и размера частиц полученного порошка от температуры расплава

Температура расплава, $^\circ\text{C}$	Поверхностное натяжение, Н/м	Размер получаемых частиц, мкм
1300	1,05	320
1400	1,12	346
1500	1,18	365
1600	1,17	362

Как видно из данных табл. 1, изменение температуры расплава незначительно влияет на размер частиц получаемого порошка.

Кроме того, на фракционный состав порошка влияет значение удельного по отношению к массе распыляемого материала количества дутья. На основании серии опытов, проведенных на УРМ-001, получена зависимость гранулометрического состава порошка от количества удельного расхода газа-распылителя, показанная на рис. 2.

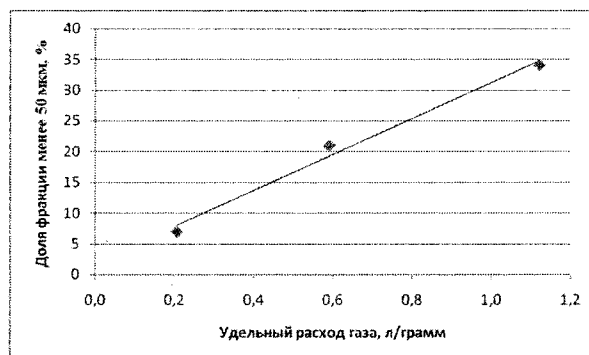


Рис. 2. Влияние удельного расхода газа-распылителя на выход фракции 50 мкм

Таблица 2
Фракционный состав полученного порошка

№ опыта	Фракционный состав (мм), %			
	<0,05	0,05–0,16	0,16–0,4	>0,4
1	21,8	33,1	30,1	15
2	20,7	32,1	30	17,2
3	25,4	30,3	24,6	19,7
4	16,6	26,7	31	25,7
5	10,5	19,7	23	46,8
6	18,8	21,8	21,8	37,6
7	38	28,5	21,3	12,2
8	34,1	33,9	22,7	9,3
9	25,3	34,2	24,4	16,1
Среднее	23,5	28,9	25,4	22,2

Исходя из вышеизложенного, в работе использовали следующую схему газового диспергирования расплава. В индукционной печи проводили выплавку металла с перегревом на $200\text{--}250 \text{ }^\circ\text{C}$ выше температуры ликвидус. Далее расплав подавали по кварцевому каналу в распылительную форсунку, где он попадал в центральную часть кольцевой схо-

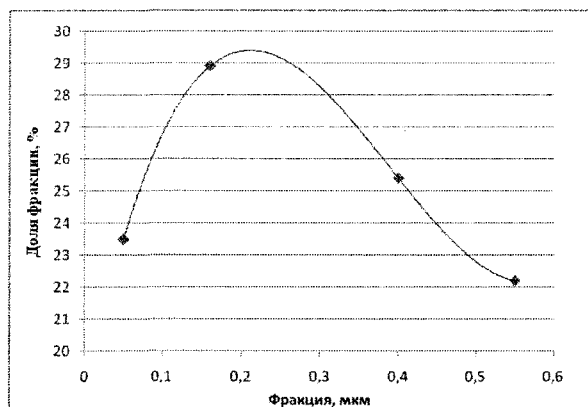


Рис. 3. Распределение частиц порошка по фракциям

дящейся воздушной струи. В результате динамического контакта с газовым потоком происходило распыление расплава. Окончательное охлаждение происходило в бункере-смесителе.

Проведена серия опытов, результаты которых представлены в табл. 2.

Из данных табл. 2 видно, что средний выход фракции частиц размером менее 50 мкм составил около 23,5 %, а из рис. 3 следует, что фракционный состав соответствует закону нормального распределения.

Таким образом, проведены расчеты необходимых технологических параметров процесса получения металлических порошков, справедли-

вость которых подтверждена экспериментальными данными.

Литература

1. Ничипоренко, О.С. Распыленные металлические порошки: моногр. / О.С. Ничипоренко, Ю.И. Найда, А.Б. Медведовский. — Киев: Наукова думка, 1980. — 240 с.
2. Справочник по чугуному литью / под ред. Н.Г. Гиришвича. — Л.: Типография госгортехиздата, 1961. — 696 с.
3. Физическая энциклопедия / под. ред. А.М. Прохорова — М.: Науч. изд-во «Большая Российская энциклопедия», 1992. — 637 с.

Поступила в редакцию 7 марта 2011 г.