

тельно, уменьшение межатомных сил взаимодействия в решетке в присутствии атомов второго компонента вызовет снижение энергетического барьера перехода атомов твердой фазы в расплав. Такой механизм перехода твердого металла в контактирующий с ним жидкий металл, подтверждается тем, что на поверхности твердых частиц, которые прилегают к жидкой фазе, по данным микроанализа и измерений микротвердости, обнаруживается слой твердых растворов. Их образование вносит основной вклад в развитие процесса контактного плавления.

Таким образом, диффузия атомов из жидкой фазы в твердую играет первостепенную роль в технологических процессах, где имеет место взаимодействие между твердой и жидкой фазами и является основным процессом, который контролирует и определяет знак и величину объемных изменений прессовок из смеси порошков нержавеющей стали X18H15 и Ni-Cr-Si-B лигатуры при жидкофазном спекании. Изучение процессов фор-

мирования структуры и свойств систем с взаимно растворимыми компонентами при жидкофазном спекании позволило определить температурно-временные параметры спекания и разработать технологические режимы изготовления износостойких деталей на основе нержавеющей сталей.

1. Савицкий А. П. Жидкофазное спекание систем с взаимодействующими компонентами. — Новосибирск: Наука, 1991.—184 с.

WEAR-RESISTING MATERIALS ON THE BASIS OF STAINLESS STEELS OBTAINED A POWDER METALLURGICAL TECHNIQUE

P. A. Myronenko, S. L. Kanygin

The influence of a structure and kinetic parameters of a liquid-phase sintering on the frame and physicomechanical properties of wear-resisting materials is studied on the basis of a stainless steel. It is established the regularity of the structural changes influence on the properties of materials.

УДК 621.762.2

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИМ СОСТАВОМ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ПРИ ИХ ПОЛУЧЕНИИ МЕТОДОМ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО РАСПЫЛЕНИЯ РАСПЛАВОВ

© Д. В. Павленко, С. Г. Бондаренко

Науково-дослідний інститут енергетики Дніпропетровського національного університету

Робиться спроба оцінити ступінь впливу різних параметрів на процес руйнування струменя розплавленого металу під дією надзвукового газового потоку. Визначено характер впливу окремих параметрів процесу на якість порошку олова. Визначено деякі параметри технологічного процесу, при яких забезпечується високий рівень виходу порошку.

Совершенствование методов получения порошков металлов, создание принципиально новых технологий и новых видов порошков являются весьма важными проблемами. Решение таких проблем предусматривает более широкое применение фундаментальных исследований в этой области.

Диспергирование расплавов сверхзвуковой газовой струей является одним из наиболее перспективных способов получения металлических порошков. Его отличают малые затраты энергии, высокая производительность и технологичность процесса, широкие возможности его автоматизации.

Для нахождения оптимальных параметров процесса распыления с целью получения порошка с

заданными характеристиками необходимо исследовать физическую сущность всего многообразия явлений, протекающих при распылении, а также оценить степень влияния каждого из них на конечные характеристики порошка. Исследование процессов в металлогазовом факеле интересно также для развития теории диспергирования и углубления представлений о технологии получения распыленных металлических порошков.

Процессы, которые протекают при диспергировании расплавов во время взаимодействия газового потока с расплавом и взаимодействия отдельных капель, определяют конечные характеристики порошков и в первую очередь гранулометрический

состав и форму частичек. Металлогазовый факел отличается от газожидкостного тем, что агрегатное состояние жидкости (расплава) изменяется по мере снижения температуры капель, в связи с чем изменяются также все теплофизические характеристики расплава. Системы, которые существуют в условиях, подобных тем, в которых находится металлогазовый факел, изучены недостаточно из-за сложности постановки эксперимента и описания процессов, происходящих в нем, быстрой смены структуры и параметров металлогазового факела во времени и в пространстве.

В большинстве экспериментальных исследований, описанных в литературе, производились попытки выявить зависимости конечных размеров капель от параметров распыла, однако однозначные результаты не были получены. В литературе [1, 2, 7] приводятся эмпирические формулы для определения размеров частичек порошка в зависимости от параметров распыления, например

$$d_k = 585 / W_r (\sigma / \rho)^{0.5} + 597 [\nu / (\sigma \rho)^{0.5}]^{0.45} (10^3 G_m / G_r), \quad (1)$$

где d_k — характерный размер капель, W_r , G_r — скорость газового потока и расход распыливающего газа, G_m — расход расплава, σ , ν , ρ — соответственно поверхностная энергия, вязкость и плотность расплава.

Результаты вычислений, проведенных по ним, как правило, не совпадают [3, 4], поэтому важно иметь надежные экспериментальные результаты для конкретных расплавов и технологических параметров распыления.

В лаборатории динамики тепловых процессов Научно-исследовательского института энергетики Днепропетровского национального университета создана и работает экспериментальная установка для получения порошка олова, на которой производятся исследования многофазного потока, образующегося при распылении жидкого металла газом в широком диапазоне параметров технологического процесса, таких как: температура и давление газа, подаваемого на распыление, температура и расходные характеристики расплава, способ его подачи в газовый поток, давление газа, подаваемого на охлаждение, а также различные геометрические параметры реактивного сопла. Изменяя ряд параметров технологического процесса, можно воздействовать на характеристики порошков, получать порошки необходимой формы и дисперсности.

Установка содержит узел распыла, в котором и происходит взаимодействие струи жидкого металла с высокоскоростной струей газа (воздуха). Узел распыла представляет собой кольцевую камеру, переходящую в форсунку в виде кольцевого сопла

Лавала, направленного вниз. По оси центрального тела сопла выполнен цилиндрический канал, по которому струя расплавленного металла подается в поток газа. Путем изменения геометрических параметров центрального тела сопла можно изменять характеристики газового потока и расход расплава. В качестве модельной жидкости для исследований был выбран расплав олова. Более подробно установка описана в наших ранних работах и патенте Украины [8].

С целью изучения влияния давления распыливающего газа на дисперсность порошка олова были проведены эксперименты, в которых поддерживались на одном уровне все параметры, кроме давления распыливающего воздуха, которое изменялось от 0.5 до 0.6 МПа. Результаты этих исследований приведены в табл. 1 и на рис. 1.

По результатам гранулометрических исследований полученных образцов порошка было выявлено, что с увеличением давления воздуха в форсунке увеличивается доля мелких частичек, при этом количество частичек размером от 30 до 50 мкм увеличивается быстрее, чем частичек, размер которых меньше 30 мкм. Из рис. 1 видно, что максимумы на кривых с ростом давления смещаются влево, в направлении более мелких частиц. Такие же закономерности наблюдались и в экспериментах с железом и чугуном [5].

Наиболее высокая эффективность диспергирования металлических расплавов обеспечивается при условиях, когда перегретый до оптимальной температуры расплав распыляется газовым потоком, нагретым до температуры расплава, вследствие чего вязкость и поверхностное натяжение расплавов не изменяются значительно в процессе дробления струи. В таких условиях исключается переохлаждение струи и крупных капель расплава, процесс диспергирования может протекать и за зоной интенсивного распыления с постепенным затуханием (такие условия, конечно, осуществимы только для металлов со сравнительно невысокой температурой плавления: до 600—700 °C).

Таблица 1

Размер частиц, мкм	Доля частиц в порошке олова, %		
	0.50 МПа	0.55 МПа	0.60 МПа
< 10	17.0	17.5	18.6
10—20	20.0	23.0	27.0
20—30	7.0	24.0	17.0
30—50	6.0	9.0	26.0
50—100	13.0	13.0	5.0
100—160	25.0	9.0	3.0
160—250	7.0	4.0	3.0
> 250	5.0	0.5	0.4

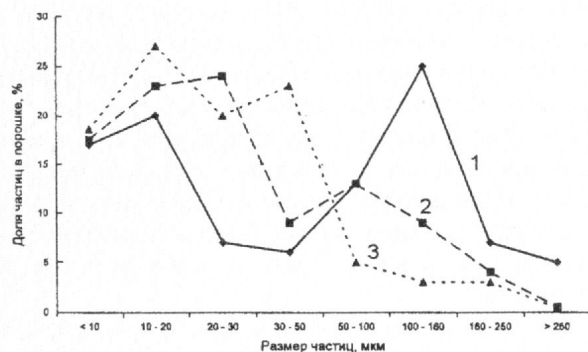


Рис. 1. Распределение частиц порошка по размерам для разных давлений воздуха в камере распыла: кривые 1—3 для $P = 0.50, 0.55$ и 0.60 МПа

Результаты экспериментов с расплавами, перегретыми до различных температур, показали, что оптимальной является температура на $150\text{--}200^\circ\text{C}$ выше точки плавления металла. При данных условиях расплав олова можно рассматривать как ньютоновскую жидкость.

Снижение температуры расплава влечет за собой снижение выхода мелких фракций порошка и уменьшение доли частиц, имеющих округлую форму. Это происходит в связи с увеличением вязкости и поверхностного натяжения металлического расплава.

Перегрев расплава более чем на 200°C выше температуры плавления металла не дает существенного увеличения количества мелких фракций порошка, по-видимому, вследствие недостаточной скорости удаления жидких мелкодисперсных частиц из зоны распыления и возможной коагуляции частиц, а также образования на поверхности частиц окисной пленки, увеличивающей вязкость расплава и препятствующей дальнейшему дроблению частиц.

В процессе исследований проверялась зависимость дисперсности порошка олова от расхода расплава. Расход расплава определялся количеством и размерами отверстий, через которые металл подавался в газовый поток. В данных экспериментах расплав олова подавался в зону распыления через три отверстия диаметром 2, 2.5 и 3 мм в первом, втором и третьем эксперименте соответственно. Результаты экспериментов приведены в табл. 2 и на рис. 2.

По результатам экспериментов можно сделать вывод, что при уменьшении расхода расплава увеличивается количество частиц размером до 50 мкм, соответственно уменьшается количество частиц, больших 50 мкм.

Однако при этом увеличивается время на получение необходимого количества порошка. Кроме

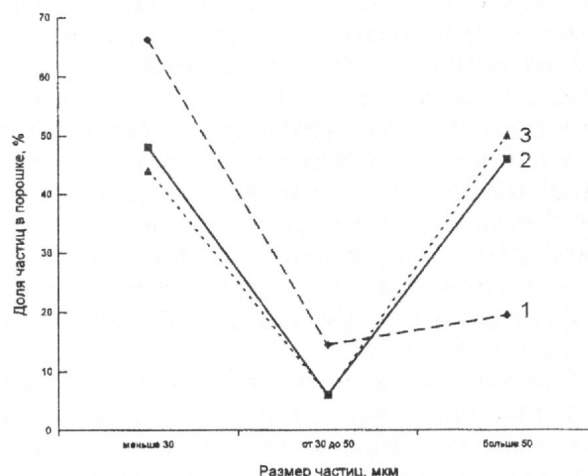


Рис. 2. Распределение частиц порошка по размерам для разных величин расхода расплава металла (диаметров сливных отверстий): кривые 1—3 для $d = 2.0, 2.5$ и 3.0 мм

Таблица 2

Размер частиц, мкм	Доля частиц порошка олова, %, +		
	2.0 мм	2.5 мм	3.0 мм
< 30	66.2	48.0	44.0
30—50	14.4	6.0	6.0
> 50	19.4	46.0	50.0

того, при проведении экспериментов с использованием штучеров с малыми отверстиями, иногда наблюдается застывание расплава в форсунке в результате его охлаждения до температур ниже температуры кристаллизации. В связи с этим уменьшается доля частичек округлой формы в результате увеличения вязкости расплава, из-за чего частички олова не успевают принять округлую форму во время нахождения в жидкофазном состоянии.

Расход расплава кроме величины отверстий, через которые истекает расплав, зависит также и от величины столба жидкости над нижним срезом сопла. В процессе работы установки уровень расплавленного металла постоянно уменьшается, что влечет за собой изменение размеров получаемых частиц порошка. С целью устранения влияния этого фактора в установку было введено дозирующее устройство, которое в ходе работы пополняет уровень расплава в сосуде по мере его расходования до определенной величины [8].

Для оценки эффективности данного устройства был проведен расчет параметров истечения расплава для штучера с одним центральным отверстием диаметром 2 мм. С этой целью был рассчитан расход расплава в начале и в конце эксперимента,

а также расход расплава при использовании дозирующего устройства. Используя полученные значения расходов и формулу (1), как достаточно хорошо повторяющую экспериментальные данные, были оценены возможные разбросы размеров частиц порошка. Расчеты показали, что без использования дозирующего устройства колебания размеров частиц получаемого порошка могут достигать порядка 40 % при загрузке установки максимально возможным количеством расплава олова. При использовании устройства колебания, вносимые изменением расхода металла, не превышают нескольких процентов при любом количестве загруженного расплава, что примерно на порядок улучшает данный показатель.

Есть также другие устройства, регулирующие скорость истечения расплава металла. В некоторых используется принцип взвешивания расходного стакана. Система автоматики контролирует вес стакана и непрерывно добавляет в него расплав с целью поддержания веса расходного стакана на заданной величине [9].

Большой интерес представляет возможность снижения поверхностного натяжения расплавленного металла путем наводки на поверхность металла соответствующего электростатического заряда. При этом на поверхности частички-проводника возникают силы, стремящиеся ее растянуть, причем вектор этих сил будет направлен противоположно вектору сил поверхностного натяжения, и следовательно, будет уменьшать величину эффективной поверхностной энергии расплава [1].

Есть также системы, в которых струе жидкого металла или газа сообщаются различного рода колебания для сообщения расплаву дополнительной энергии диспергации. В некоторых конструкциях в цилиндрическое сопло вводится центральное тело, являющееся источником ультразвуковых колебаний и образующее с соплом заданный зазор. В зазор поступает расплавленный металл, и распыление проводят с помощью ультразвука [10]. Струе расплавленного металла, истекающей через тонкий канал, сообщаются продольные колебания, в результате чего струя расплава делится на капли почти идентичного размера, определяемого размерами канала и параметрами колебаний. В итоге получается порошок с узким интервалом величин грансостава [11].

Таким образом, из проведенных нами исследований, а также результатов [1, 2, 5, 6] можно сделать следующие выводы.

Для получения порошка с большей частью час-

тиц менее 100 мкм скорость дутья должна быть выше 300 м/с, то есть получить мелкодисперсные порошки можно только при использовании сверхзвукового дутья. Образованию мелкодисперсных порошков благоприятствуют такие факторы: низкая вязкость расплава, его повышенная температура, его малое поверхностное натяжение, высокая вязкость распыливающего газа, минимальная длина свободного слива расплава, максимальный расход распыливающего газа и его скорость. При этом количество мелких капель растет интенсивнее, когда расход газа увеличивается путем повышения давления в форсунке, а не путем увеличения площади проходного сечения сопла.

1. Ничипоренко О. С., Найда Ю. И., Медведовский А. В. Распыленные металлические порошки. — Киев: Наук. думка, 1980.—235 с.
2. Силаев А. Ф., Фишман Б. Д. Диспергирование жидких металлов и сплавов. — М.: Металлургия, 1983.—144 с.
3. Сизов А. М. Диспергирование расплавов сверхзвуковыми газовыми струями. — М.: Металлургия, 1991.—184 с.
4. Брунауер С. Адсорбция газов и паров: Физ. Адсорбция. — М.: Изд-во иностр. лит., 1948.—Т. 1.—783 с.
5. Грацианов Ю. П., Путимцев Б. Н., Силаев А. Ф. Металлические порошки из расплавов. — М.: Металлургия, 1970.—245 с.
6. Новые методы получения металлических порошков: Сб. науч. тр. ИПМ АН УССР. — Киев, 1979.—С. 26—35.
7. Порошки цветных металлов. Справочное изд. / Под ред. С. С. Набойченко. — М.: Металлургия, 1997.—542 с.
8. Пат. України № 17808А. Установка для одержання металевих порошків шляхом розпилення розплаву / А. І. Степченко, В. Г. Ковальчук, Л. В. Адамчик. — Виданий 03.06.97.
9. Pat. 2702344. Akiyama Mamoru Kawasaki Steel Corp. — Publ. 98.01.21.
10. Pat. 2-32323. То йо арумینیум К.К. — Publ. 90.07.19. — N 3-809
11. Pat. 3-162507. Manufacture of metal powder daido steel CO LTD KATSUJI KUSAKA. — Publ. 91.07.12

RESEARCH METHOD OF CONTROL OF GRAIN COMPOSITION OF METALLIC POWDERS OBTAINED BY GAS-DYNAMICAL MELTS ATOMIZATION

D. V. Pavlenko, S. G. Bondarenko

In the given job the attempt to estimate the degree of influence of different parameters on process of destruction of a molten metal flow by effect of a supersonic gas stream was made. As a result of the conducted idealised and experimental researches the nature of influencing of separate parameters of process on quality properties of a received tin powder was determined. Some parameters of a manufacturing process of a tin powder obtaining are also determined. These parameters are provided one not only the indispensable characteristics of powder, but also the high level of an output of a powder is reached. Some known before regularity for separate metals were affirmed for tin too.