

ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МИКРОПОРОШКОВ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ РАСПЫЛЕНИЕМ

П.А. Лыков, Е.В. Сафонов, К.А. Бромер, А.О. Шульц

PRODUCTION OF METALLIC POWDERS BY GASDINAMICAL ATOMIZATION

P.A. Lykov, E.V. Safonov, K.A. Bromer, A.O. Schulz

Показаны технологические схемы распыления металла с плавлением в тигле и бесконтактным способом. Оценены режимы и характеристики получаемого материала.

Ключевые слова: распыление расплава, металлические микророшки, форма частиц, селективное лазерное спекание.

The technological schemes of atomizing metal melting in the crucible and without contact are indicated. Evaluated modes and features of the obtained material.

Keywords: atomizing of melt, metallic micron powders, particle shape, selective laser sintering.

В последние годы наряду с традиционными способами получения деталей (литье, ковка, штамповка) все большее распространение находит метод послойного лазерного спекания [1]. Данный метод позволяет получать детали с различной геометрией, в том числе и внутренней [2]. Отсутствие в методе последующей обработки детали позволяет использовать фактически 100 % материала.

Процесс производства детали заключается в послойном лазерном спекании металлических порошков. Основными требованиями к порошкам являются узкие пределы гранулометрического состава и сферическая форма частиц. Основным поставщиком сырья – это страны дальнего зарубежья. Однако задача импортозамещения, снижения стоимости и расширения диапазона химического состава материала требует создания российской технологии и оборудования для мелкосерийного производства микророшков.

Анализ существующих методов получения металлических порошков (электрический взрыв, измельчение в шаровых вращающихся мельницах, измельчение струи расплава ультразвуком, восстановление химических соединений, электролиз, методом испарения-конденсации и др.), с учетом требуемых параметров, позволяет сделать выбор в пользу распыления металла в газовой струе. Данный метод отвечает основным условиям:

- 1) сравнительно высокая производительность;
- 2) энергоэффективность;
- 3) возможность получения порошков из различных материалов и сплавов;
- 4) возможность регулирования дисперсности получаемого порошка;
- 5) возможность получения порошка со сферической формой частиц.

На основе расчетов и компьютерного моделирования процесса дробления расплава была разработана схема (рис. 1) установки распыления металла УРМ-001 (патент № 110312 от 20.11.2011), предназначенной для обеспечения установки лазерного спекания Sinterstation Pro DM125 SLM System металлическими микророшками.

Принцип работы установки заключается в следующем: в плавильной печи осуществляют выплавку металла с перегревом на 200–250 °С выше температуры плавления, после этого расплав вытесняется сжатым газом по каналу подачи расплавленного металла в распылительную форсунку.

Технология

В качестве распыляющего газа используют воздух или аргон. При истечении газа из форсунки (рис. 2) через кольцевой канал формируется кольцевая сходящаяся газодинамическая струя с дозвуковой или сверхзвуковой скоростью, которая взаимодействует с расплавом, подаваемым в центральную часть струи.

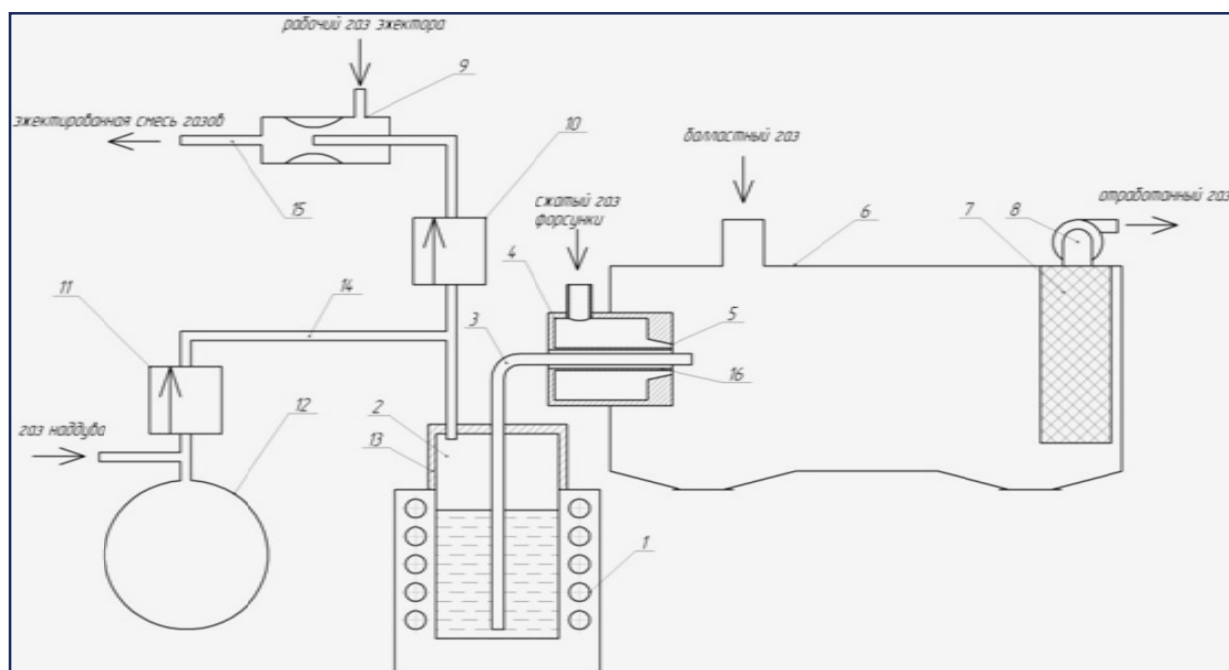


Рис. 1. Схема УРМ-001: 1 – плавильная печь; 2 – герметичная рабочая полость; 3 – вертикальный канал подачи расплава; 4 – распылительная форсунка; 5 – кольцевой канал выхода газа; 6 – бункер; 7 – рукавный фильтр; 8 – вытяжной вентилятор; 9 – эжектор; 10, 11 – управляющие клапаны; 12 – накопительная емкость со сжатым газом; 13 – герметизирующая крышка; 14, 15 – каналы подвода и отвода вытесняющего газа; 16 – центральное сквозное отверстие

К преимуществам технологической схемы УРМ-001 следует отнести следующее:

- 1) в качестве плавильного агрегата выступает индукционная печь, плавление в которой не сопряжено с загрязнением материала;
- 2) вертикальная подача материала дает возможность мгновенной остановки процесса, а также регулирования скорости подачи расплава давлением газа в герметичной рабочей полости;
- 3) ударный наддув герметичной рабочей полости печи сжатым газом обеспечивает мгновенный старт процесса.

Экспериментальное распыление различных материалов производилось в струе воздуха и аргона, в качестве распыляемых материалов выступали чугун, медь и латунь. Процесс распыления представлен на рис. 3.

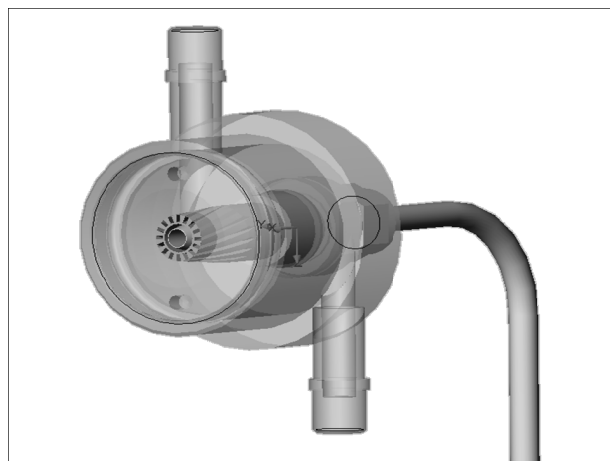


Рис. 2. Модель распылительной форсунки

Порошки, полученные на установке УРМ-001, сравнивались с металлическими порошками Stainless Steel Powder 316L, применяемыми в технологиях селективного лазерного спекания. Гранулометрический состав материала соответствовал диапазону 40–50 мкм, сравнение материалов проводилось по следующим параметрам:

1. Текучесть – способность порошка с определенной скоростью вытекать из отверстий. Данный параметр крайне важен с производственной точки зрения для осуществления быстрой и непрерывной подачи порошка.

Измерение проводилось методом воронки: навеску порошка массой 50 г, взвешенную с погрешностью до 0,1 г, высыпали в воронку с закрытым выходным отверстием. Выходное отверстие открывали, и порошок высыпался в приемник. Начало и конец истечения порошка из воронки фиксировали секундомером. За результат испытания принимали среднее арифметическое значение результатов пяти определений.

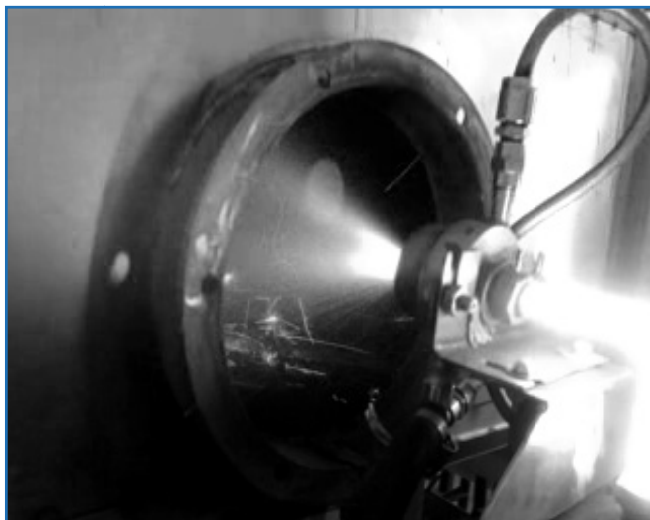


Рис. 3. Процесс распыления расплава на установке УРМ-001

стукивание по емкости, чтобы порошок осел и не рассыпался при перемещении. Массу порошка определяли с точностью до 0,05 г; определение выполняли на трех испытуемых порциях.

Насыпную плотность вычисляли по уравнению

$$\rho_n = m/V,$$

где ρ_n – насыпная плотность, кг/м³; m – масса порошка, г; V – объем емкости, м³.

3. Относительная плотность – отношение насыпной плотности порошка к плотности материала.

Сравнивать значения насыпной плотности различных материалов не корректно, поэтому в исследованиях использовалась величина относительной насыпной плотности. Таким образом отношение плотности материалов к насыпной плотности порошков определялась по формуле

$$\rho_{н.отн} = \rho_n / \rho_{мат},$$

где $\rho_{н.отн}$ – относительная насыпная плотность порошка; ρ_n – насыпная плотность порошка, кг/м³; $\rho_{мат}$ – плотность материала, кг/м³.

Результаты анализа характеристик материалов представлены в таблице.

Характеристики порошковых материалов

Материал	Текучесть, с	Насыпная плотность, кг/м ³	Относительная плотность
Stainless Steel Powder 316L (МТТ Technologies)	12	4170	0,53
Порошок, полученный на УРМ-001 распылением чугуна в струе воздуха	26	3120	0,31
Порошок, полученный на УРМ-001 распылением меди в струе воздуха	12	5075	0,56
Порошок, полученный на УРМ-001 распылением латуни в струе воздуха	23	3300	0,39
Порошок, полученный на УРМ-001 распылением чугуна в струе аргона	18	3240	0,39
Порошок, полученный на УРМ-001 распылением меди в струе аргона	10	5125	0,57

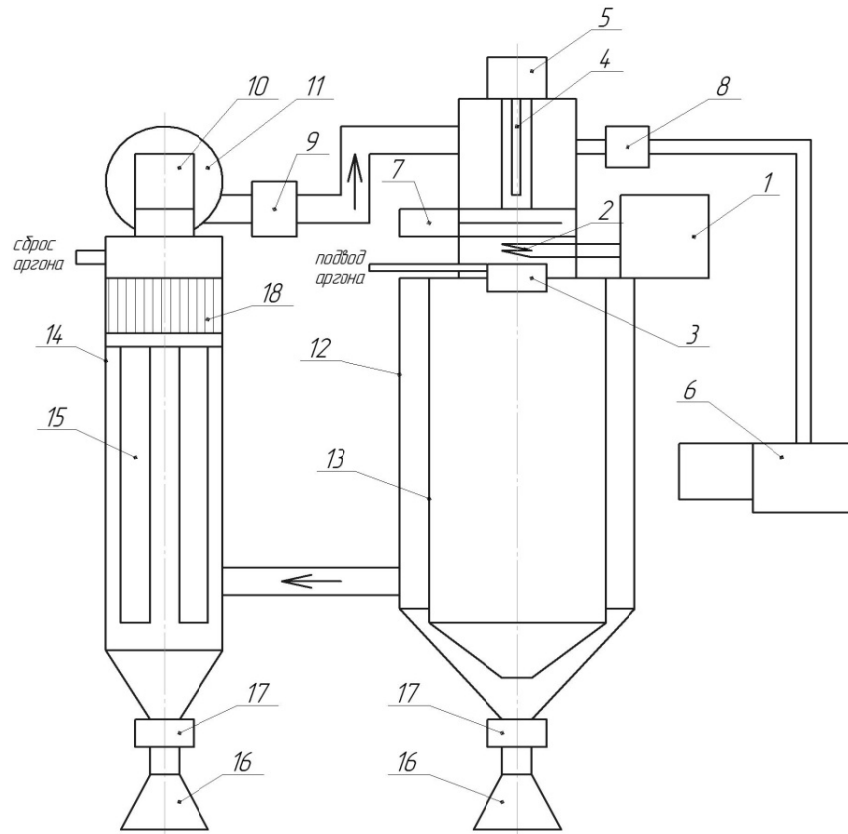


Рис. 4. Схема УРМ-002: 1 – плавильный агрегат; 2 – индуктор; 3 – распылительная форсунка; 4 – заготовка; 5 – привод подачи заготовки; 6 – вакуумный насос; 7 – вакуумный затвор; 8, 9, 10 – вакуумные клапаны; 11 – циркуляционный вентилятор; 12 – камера распыления; 13 – экран; 14 – фильтровально-охлаждающая камера; 15 – рукавный фильтр; 16 – емкость для сбора порошка; 17 – блок вентилялей; 18 – охладитель аргона

Метод распыления металла в установке УРМ-001 предполагает плавление металла в тигле. Известно, что расплав материала, обладающего высоким сродством к кислороду, способен вступать в химические реакции с футеровкой, поэтому для получения микропорошков высокоактивных материалов разработана схема, включающая бесконтактное плавление металла (рис. 4, 5).

Технологическая схема УРМ-002 предполагает бесконтактное плавление металла. Расходуемая металлическая заготовка вертикально подается в индуктор. Расплавленный металл под действием силы тяжести движется сквозь осевое отверстие распылительной форсунки. Равномерное оплавление торца заготовки обеспечивается использованием конусообразного индуктора (рис. 6).

Принцип бесконтактного плавления позволяет уйти от использования дорогостоящих огнеупорных материалов, а также исключает загрязнение металла в процессе распыления. Кроме того, отсутствие необходимости перегрева и выдержки расплава при высокой температуре позволяет снизить энергетические затраты процесса.

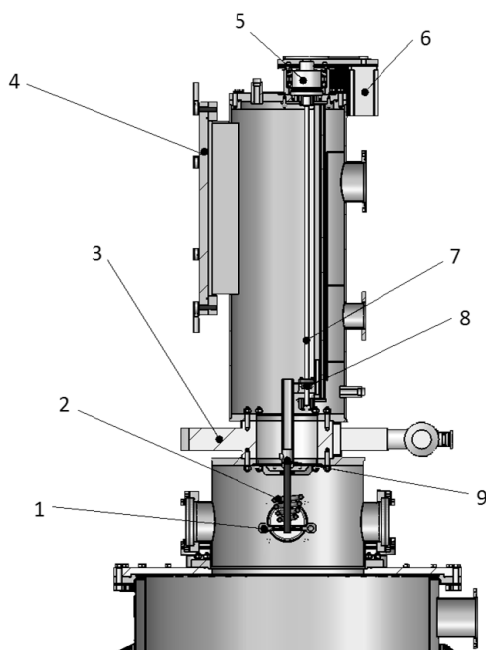


Рис. 5. Схема подачи заготовки УРМ-002: 1 – распылительная форсунка; 2 – индуктор; 3 – вакуумный затвор; 4 – загрузочный люк; 5 – магнитная муфта; 6 – электрический двигатель; 7 – винт; 8 – каретка; 9 – заготовка

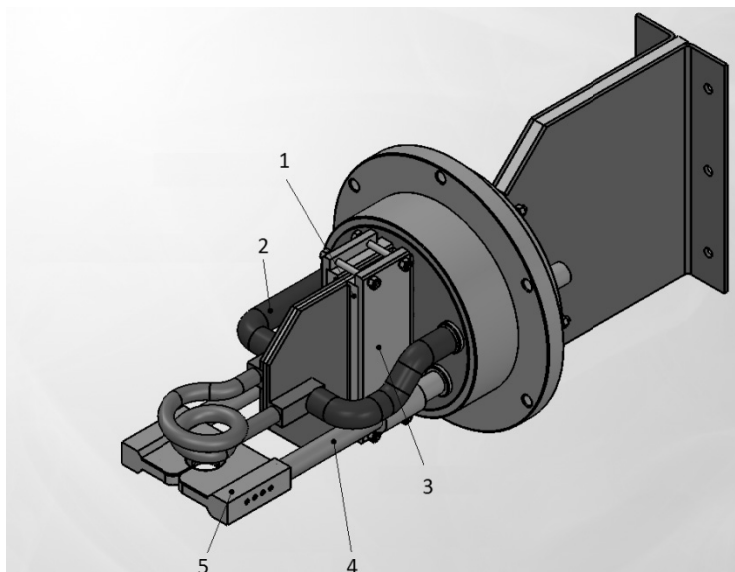


Рис. 6. Распылительный узел УРМ-002: 1 – изолятор; 2 – охлаждающая вода; 3 – зажим; 4 – подвод газа; 5 – распылительная форсунка

Вывод

В работе показаны технологические схемы распыления металла с плавлением в тигле и бесконтактным плавлением металла, оценены возможности получения микропорошков различных материалов. Сравнение технических характеристик микропорошков Stainless Steel Powder 316L с некоторыми образцами микропорошков, полученных распылением металла в установке УРМ-001, позволяет предположить возможность использования последних в технологиях селективного лазерного спекания.

Представленная работа выполнена при поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы».

Литература

1. Назаров, А.П. Перспективы быстрого прототипирования методом селективного лазерного спекания/плавления / А.П. Назаров // Вестник МГТУ Станкин. – 2011. – № 4. – С. 46–51.
2. Шатульский, А.А. Применение методов прототипирования для изготовления изделий машиностроения / А.А. Шатульский, М.А. Шаповалова // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2011. – № 1. – С. 24–29.

Поступила в редакцию 19 сентября 2012 г.

Лыков Павел Александрович. Инженер УНИД, Южно-Уральский государственный университет. Область научных интересов – получение металлических порошков распылением расплавов. Тел.: (351) 267-92-65; e-mail: pavel2504@ya.ru

Pavel A. Likov. The engineer, South Ural State University. The area of scientific interests – receiving molten metal powder spray. Tel.: (351) 267-92-65; e-mail: pavel2504@ya.ru

Сафонов Евгений Владимирович. Кандидат технических наук, доцент, и.о. заведующего кафедрой «Двигатели летательных аппаратов», Южно-Уральский государственный университет. Область научных интересов – гидрогазодинамика, математическое моделирование, теплообмен. Тел.: (351) 267-92-65; e-mail: e-safonov@yandex.ru

Evgeny V. Safonov. Candidate of engineering science, senior lecturer of «Aircraft engines» department, South Ural State University. The area of scientific interests – fluid dynamics, mathematical modeling, heat. Tel.: (351) 267-92-65; e-mail: e-safonov@yandex.ru

Бромер Константин Александрович. Инженер кафедры «Двигатели летательных аппаратов», Южно-Уральский государственный университет. Область научных интересов – гидрогазодинамика, математическое моделирование, теплообмен. Тел.: (351) 267-92-65.

Konstantin A. Bromer. The engineer of «Aircraft engines» department, South Ural State University. The area of scientific interests – fluid dynamics, mathematical modeling, heat. Tel.: (351) 267-92-65.

Шульц Алексей Оттович. Инженер кафедры «Двигатели летательных аппаратов», Южно-Уральский государственный университет. Область научных интересов – гидрогазодинамика, математическое моделирование, теплообмен. Тел.: (351) 267-92-65; e-mail: shao75@mail.ru

Alexey O. Schulz. The engineer of «Aircraft engines» department, South Ural State University. The area of scientific interests – fluid dynamics, mathematical modeling, heat. Tel.: (351) 267-92-65; e-mail: shao75@mail.ru