

УДК. 621.762

## **ПОЛУЧЕНИЕ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ ИЗ ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ ЦЕНТРОБЕЖНЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ**

*Якубович Д.И., Стрельцов С.В., Хабибуллин А.И.*

*МОУ ВО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев, Белоруссия*

*В работе представлены исследования по разработке установки для центробежного распыления жидких железоуглеродистых сплавов позволяющей получать порошковые материалы до 50 мкм.*

***Ключевые слова:** мелкодисперсный порошок, центробежное распыление.*

В настоящее время получение изделий из порошков металлов приобрело широкое распространение в области аддитивных технологий. При изготовлении порошков, активно применяется метод вертикального распыления жидкого металла с помощью форсунок в среде инертных газов. Однако большие габариты оборудования и высокий расход газов не позволяет широко применять данный метод в научных исследованиях при разработке новых порошковых материалов, когда необходимо получать небольшое количество материалов с разным химическим составом и дисперсностью. Поэтому создание универсального малогабаритного лабораторного оборудования для получения различных металлических порошков является актуальной задачей.

Центробежное распыление является одним из основных видов диспергирования расплава металлов, имеющих высокое родство с кислородом. В производстве порошков реализуют три основных способа распыления расплава под действием центробежных сил: способ вращающегося электрода, перфорированного стакана и диска.

По первому способу диспергирование расплава производят с торца цилиндрического расходоуемого электрода, приводимого во вращение до 20000 об/мин. За счет действия электрической дуги или потока плазмы на торце вращающегося электрода, происходит образование тонкой пленки расплавленного металла толщиной 10-30 мкм, которая распыляется центробежными силами. При остальных схемах диспергирования плавку металла производят автономно, вне зоны распыления.

Самым простым способом является способ распыления вращающимся диском. Струя расплава падает на вращающийся диск, образуя на поверхности диска пленка расплавленного металла разрушается под действием центробежных сил. Капли формируются различных размеров, в зависимости от частоты вращения, диаметра диска, физико-химических свойств расплава и его расхода, а также среды, в которой происходит кристаллизация. Поверхность диска перемещается со скоростью, на несколько порядков больше скорости подачи жидкого металла. Кинетическая энергия при диспергировании расплава расходуется на преодоление полной энергии (кинетической и потенциальной) струи жидкости и образование поверхности разрыва. Таким образом, основная работа при измельчении перегретого металлического расплава расходуется на преодоление сил поверхностного натяжения.

Форма и размер частиц порошка определяются параметрами процесса распыления. В момент начала диспергирования любые капли расплава имеют неправильную форму, но стремятся принять сферическую форму под действием сил поверхностного натяжения. Тем не менее, эта склонность к сфероидизации может не осуществиться, если капля быстро затвердеет. В том случае, когда время, затрачиваемое на ее формообразование будет больше времени необходимого для ее

кристаллизации, вместо сферической частицы образуются частицы неправильной формы.

Обычно, при распылении стальных сплавов время охлаждения капель до температуры затвердевания находится в диапазоне от 0,01 до 0,1 с, отношение времени выделения скрытой теплоты кристаллизации ко времени охлаждения ее до температуры начала кристаллизации составляет  $\approx 3,7$ , а время сфероидизации капли меньше времени ее затвердевания [1-3].

Продолжительность затвердевания зависит от множества факторов: теплоемкости расплава и удельной теплоты кристаллизации расплава, коэффициента теплоотдачи от расплава к окружающей среде, температур плавления расплава, от массы и площади поверхности образующейся капли.

Целью работы являлось установление возможности применения метода центробежного распыления для получения мелкодисперсных порошков размерами до 50 мкм из железоуглеродистых сплавов.

Методика исследования. Плавление металла осуществлялось электрической дугой, горячей между заготовкой и вольфрамовым электродом в среде аргона, при силе сварочного тока 90-100 А и расходе защитного газа 10-12 л/мин. Источником питания дуги служил сварочный аппарат Minarc-220.

Распыление жидкого металла осуществлялось на установке центробежного распыления оригинальной конструкции. В качестве расходного материала для плавки использовался пруток из арматуры S240 диаметров 12 мм и стали 20 диаметром 10 мм.

Плавление металла осуществляли на высоте 100 мм от вращающегося диска, при непрерывно горячей дуге. Металл стекал вертикально вниз, каплями диаметром до 8 мм. Скорость вращения диска составляла 10000 мин<sup>-1</sup>. При соприкосновении с диском капли жидкого металла разбивались и меняли свою траекторию с вертикальной на горизонтальную с последующим охлаждением в коробе с воздушной атмосферой.

Для микроскопического метода исследования использовался микроскринер ЛабоМет-1 с видеокамерой TOUPCAMTM. Электронно-микроскопический анализ поверхности мелкодисперсных порошков проводился при помощи сканирующего электронного микроскопа Tescan VEGA 2SBA. Подготовка микрошлифов проводилась по стандартной методике.

Полученные частицы порошка просеивали на сите с размером ячейки 50 мкм.

Результаты исследования и их обсуждение. Экспериментальные исследования, проведенные на сконструированной установке показали, что ударное воздействие вращающегося диска на струю жидкого металла

интенсифицирует процесс ее разрушения и существенно повышает дисперсность капель. При этом падающая жидкость преобразовывается в такую растянутую форму, которая обладает наибольшей поверхностной энергией с максимальной степенью неустойчивости. В результате образуются тонкая пленка или пластинки неопределенной конфигурации, которые в последствии стремятся принять сферическую форму. Размеры частиц порошка могут варьироваться в широком диапазоне.

Для увеличения количества порошка желаемого размера необходимо оптимизировать конструктивные размеры вращающегося диска. Упрощенный технологический расчет центробежного распылителя заключался в определении его основных конструктивных параметров в зависимости от заданного гранулометрического состава и физико-химических свойств расплава.

Средний размер частиц получаемого порошка  $d$ , м, определяется в зависимости от конструктивных параметров установки и физико-химических свойств расплава по формуле (1) [1].

$$d = \frac{K}{\omega} \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{D \cdot \gamma}}, \quad (1)$$

где  $d$  – желаемый средний размер частиц порошка, м,  $d = 4 \times 10^{-5}$ ;  $K$  – коэффициент учитывающий условия формирования капли,  $K=0,95$ ;  $\omega$  – угловая скорость вращения диска, рад/с;  $D$  – диаметр диска, м;  $\sigma$  – поверхностное натяжение расплава, н/м,  $\sigma = 1,37$ ;  $\gamma$  – плотность расплава, кг/м<sup>3</sup>,  $\gamma=7800$ .

$$\omega = \pi \times n / 30 = 3,14 \times 10000 / 30 = 1047$$

Откуда требуемый диаметр диска определяется по формулам (2), (3).

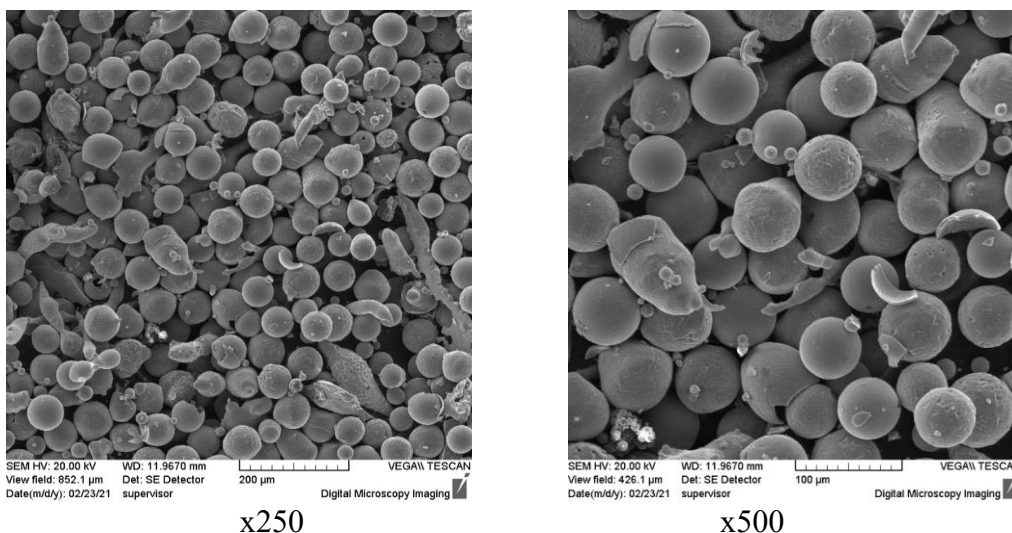
$$D = \frac{\sigma}{\gamma \cdot \left(\frac{\omega \cdot d}{K}\right)^2}. \quad (2)$$

$$D = \frac{1,37}{7800 \cdot \left(\frac{1047 \cdot 4 \cdot 10^{-5}}{0,95}\right)^2} = 0,0907 \text{ м (9,07 см)}. \quad (3)$$

Исходя из расчетов, требуемый радиус диска составляет 4,5-5 см. С целью предотвращения возможности попадания капель жидкого металла мимо диска, его радиус был увеличен до 6 см.

Использование установки с расчетными конструктивными параметрами позволило получить количество частиц с размерами менее 50 мкм до 60% от общего объема полученного порошка [4, 5].

Внешний вид стального порошкового материала, прошедшего сепарацию на сите с размером ячейки до 50 мкм представлен на рисунке 1.



**Рис. 1. Внешний вид порошка сталь 20**

Из рисунка видно, что основная масса стального порошка имеет правильную сферическую форму. Минимальный размер образовавшихся частиц составил около 5 мкм.

Форма и размеры полученного порошка позволяют говорить о возможности его применения в аддитивном производстве для селективного лазерного плавления.

В результате проведенных исследований установлено, что применение центробежного распыления металла позволяет получить металлический порошок из стали 20, размерами до 50 мкм. Не менее 80% порошка имеет сферическую форму.

Перспективным направлением применения полученных порошков будет их использование для селективного лазерного плавления на 3D-принтерах.

### Список литературы

1. Либенсон Г. А. Процессы порошковой металлургии. Т1. Производство металлических порошков / Г. А. Либенсон, В. Ю. Лопатин, Г. В. Комарницкий. - М.: «МИСИС», 2001. –367 с.
2. Силаев А. Ф. Диспергирование жидких металлов и сплавов /А. Ф. Силаев, В. Д. Фишман. –М. Металлургия, 1983. – 144 с.
3. Труфанов Д.А., Котов С.А., Шалашов Е.В., Часов В.В. Получение металлических порошков методом центробежного распыления с использованием вращающегося стакана. Металлообработка. Новые материалы и технологии производства, 2016. – №4 с 57-62.
4. Якубович Д. И., Стрельцов С. В. Получение мелкодисперсных порошков из железоуглеродистых сплавов центробежным распылением. / Материалы международной научно-технической конференции «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии», Могилев, апрель - 2021. – с. 163.

5. Якубович Д.И., Стрельцов С.В. Экспериментальная установка центробежного диспергирования сплавов. / Материалы международной научно-технической конференции «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии», Могилев, апрель - 2022. – с. 178.