

04;15

## **Обработка мелкодисперсных порошков силиката циркония в струе высокочастотного индукционного плазмотрона**

© И.Н. Новиков, А.М. Кручинин

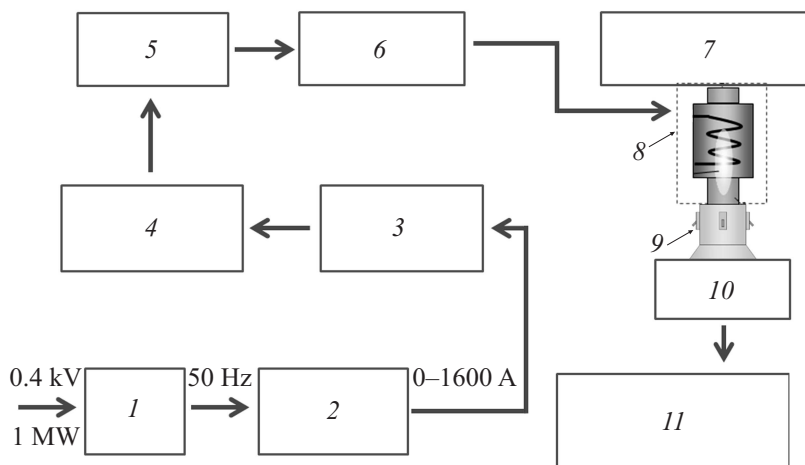
ОАО «Приборный завод „Сигнал“», ООО «Технокерамика»,  
Калужская обл., Жуковский район, дер. Верховье  
E-mail: nordvig\_89@mail.ru

Поступило в Редакцию 28 мая 2014 г.

Описываются физические особенности и перспективы применения высокочастотного плазменного разряда при обработке мелкодисперсного порошка силиката циркония. Приводится описание высокочастотной индукционной плазменной установки.

В последние годы все больше растет интерес к процессам и технологиям, основанным на применении низкотемпературной плазмы. Особенно перспективны в этом направлении аппараты и конструкции, использующие высокочастотный нагрев газа [1,2]. Отсутствие электродов позволяет получить высокочастотную плазму особо чистой, не загрязненной продуктами их разрушения, а невысокая скорость плазменной струи, в сравнении с дугowymi струйными плазмотронами, позволяет частицам дольше находиться в реакционной зоне плазменной струи. Промышленное применение высокочастотных индукционных (ВЧИ) плазмотронов дает возможность проводить обработку мелкодисперсных порошков с большой производительностью и является актуальным и многообещающим направлением в порошковой металлургии.

Высокочастотный индукционный плазмотрон позволяет получать плазму атмосферного давления с температурой до 11 000 К в центре реакционной зоны. Исследования режимов обработки мелкодисперсного порошка силиката циркония проводились на опытно-промышленной установке с ВЧИ-плазмотроном установленной мощностью 1000 kW, частотой 440 КHz. Структурная схема и состав оборудования установки представлены на рис. 1.



**Рис. 1.** Структурная схема установки: 1 — шкаф вводный; 2 — регулятор мощности тиристорный; 3 — трансформатор 0.4/10 kV; 4 — блок высоковольтного выпрямителя; 5 — блок генераторный; 6 — конденсаторная батарея; 7 — подача плазмообразующего газа; 8 — разрядная камера; 9 — узел ввода сырья; 10 — реакционная камера; 11 — система газоудаления, фильтрации и вывода продукта из установки.

Электрическая часть установки включает в себя силовой шкаф с вводимой мощностью до 1000 kW, силовой трансформатор 0.4/10 kV, высокое напряжение далее преобразуется в постоянное рабочее напряжение с помощью неуправляемого высоковольтного выпрямителя. Регулировка рабочего высокого напряжения происходит по низкой стороне при помощи тиристорного регулятора напряжения. Выпрямленное рабочее напряжение подается на анод генераторного триода высокочастотного генератора. В данной установке используются 2 генераторных триода завода „Светлана“ ГУ-65А мощностью 500 kW. Высокочастотный ток проходит через конденсаторную батарею, образующую совместно с ВЧ-генератором колебательный контур. Далее ток высокой частоты подается на индуктор, при помощи которого создается мощное электромагнитное поле в рабочей зоне ВЧИ-плазмотрона.

Плазма в этой зоне образуется в кварцевой разрядной камере диаметром 144 mm, с внешней стороны которой соосно находится трех-

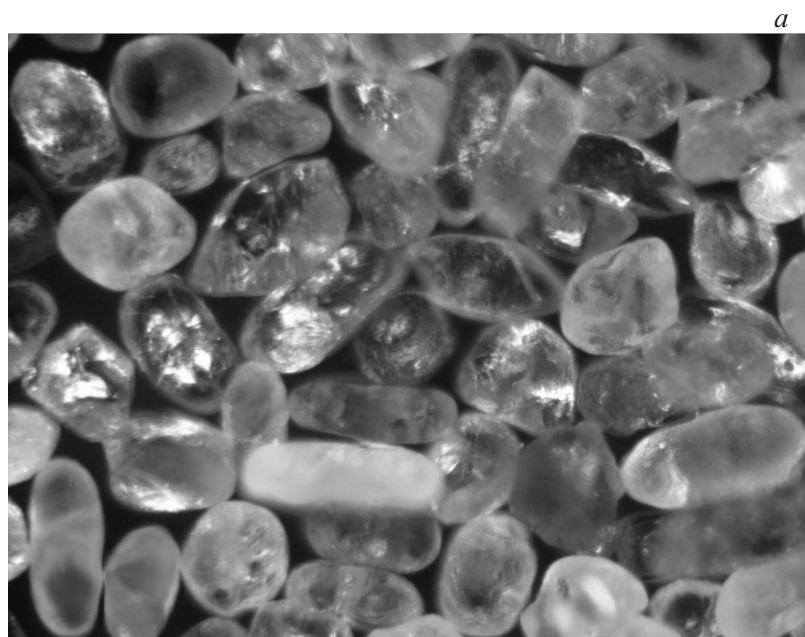
витковый водоохлаждаемый индуктор с высотой витка 67 mm. Используется система „поджига“ высокочастотного разряда с вольфрамовым стержнем диаметром 4 mm. При „поджиге“ в качестве плазмообразующего газа используется аргон. После включения системы „поджига“ в разрядной камере ВЧИ-плазмотрона возникает самоподдерживающийся стационарный безэлектродный индукционный высокочастотный разряд атмосферного давления. В дальнейшем при выводе плазмотрона в рабочий режим аргон плавно замещается воздухом. Воздух также дополнительно по отдельному каналу подается с сильной закруткой в рабочее пространство разрядной камеры в качестве защитного газа. Защитный газ необходим для предотвращения перегрева стенок разрядной камеры. Таким образом, на выходе плазмотрона формируется плазменная струя, которая служит инструментом для термообработки порошка.

В данной работе проведены исследования по обработке мелкодисперсного (50–300  $\mu\text{m}$ ) порошка силиката циркония (рис. 2). Целью обработки являлась сфероидизация частиц порошка и фазовые преобразования их структуры.

В ходе исследований были выявлены основные проблемы в реализации указанной плазменной технологии. Главная из них — отсутствие надежных методик определения рабочих характеристик плазмотрона, связанных с регулированием и оценкой тепловой мощности струи. Задача поиска оптимального соотношения регулируемых параметров оказалась многофакторной. Регулируемыми параметрами, от которых непосредственно зависит качество обработки порошка, являются: колебательная мощность; соотношение расходов плазмообразующего и защитного газа; поток массы подаваемого материала; поток массы газа, транспортирующего исходное сырье; угол ввода материала.

До последнего времени не существовало опробованных подходящих теоретических и практических методик решения этой многофакторной задачи по поиску рабочих характеристик, удовлетворяющих требованиям данного технологического процесса.

Как следует из принципа формирования высокочастотного разряда с помощью ВЧИ-плазмотрона [3], колебательная мощность, вводимая в плазмотрон, является довольно жестким параметром, гибкое управление которым не представляется возможным. Для получения качественно обработанного порошка с высоким КПД необходима более гибкая система управления процессом обработки. Такой системой может служить гибкое управление совокупностью следующих параметров:



$L = 0.2 \text{ mm}$

**Рис. 2.** *a* — исходное сырье, *b* — обработанные частицы.

соотношение расходов плазмообразующего и защитного газа; поток массы подаваемого материала; поток массы газа, транспортирующего исходное сырье; угол ввода материала.

Наличие устойчивого разряда после „поджига“ плазмы достигается путем поддержания минимально допустимых показателей колебательной мощности и расходов плазмообразующего и защитного газов. Для достижения оптимального уровня КПД установки нужно повысить колебательную мощность и соответственно увеличить теплосъем с плазменного разряда путем увеличения расхода плазмообразующего газа. Кроме того, необходимо поддерживать соответствующие показатели расхода защитного газа для защиты кварцевого стекла от оплавления.

В ходе проводимых исследований учитывался тот факт, что во время ввода порошка в зону обработки при достижении необходимой

b

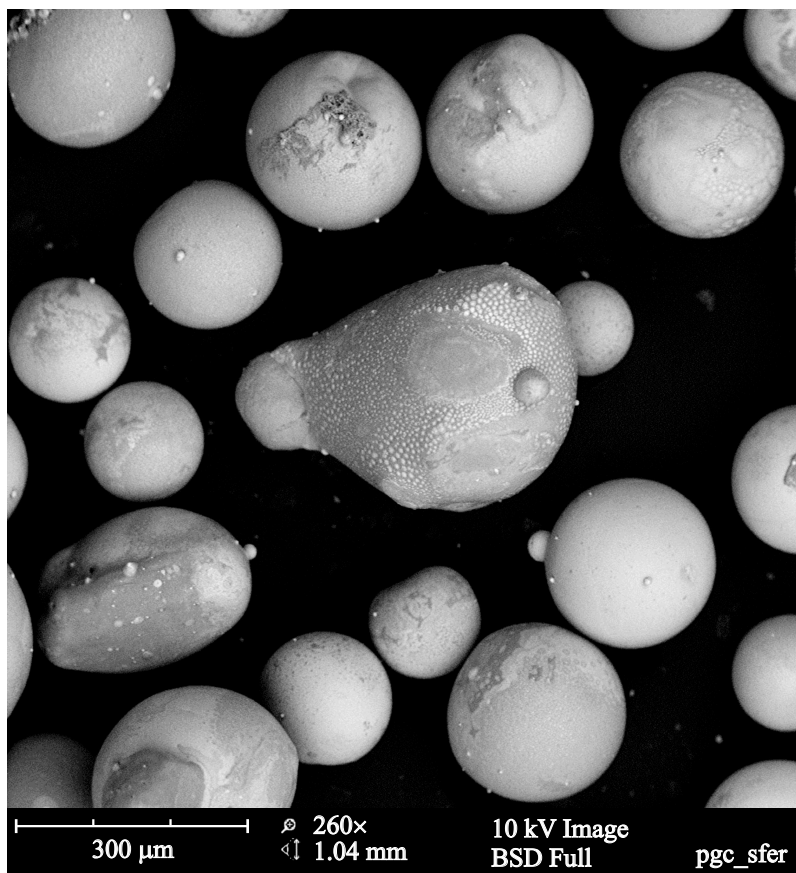


Рис. 2 (продолжение).

производительности падает доля обработанных частиц в связи с тем, что в сильном потоке частицы, летящие в верхней части потока, экранируют собой нижние, вследствие этого некоторая часть порошка не обрабатывается.

Исследования показали, что угол ввода порошка и расход транспортирующего газа необходимо выбирать из условия достижения наиболь-

шего времени нахождения частиц в области максимальных температур реакционной зоны для увеличения степени обработанности частиц. Условие оптимизации данного параметра в управлении установкой формируется на основе оценки двух противоположных факторов. С одной стороны, нужно подавать порошок с как можно большей производительностью, для этого необходимо увеличивать расход транспортирующего газа, а с другой стороны, при увеличении скорости ввода порошка сверх некоторого значения частицы пролетают зону высоких температур насквозь, ударяются в противоположную стенку и частично на ней осаждаются, образуя так называемые кораллы. Кораллы фактически являются браком, следовательно, их наличие нежелательно.

Таким образом, главными критериями оптимизации управления являются производительность, доля обработанных частиц (определяется путем структурного анализа и анализа формы), доля выхода продукта (соотношение массы подаваемого материала и массы полученного продукта). Задача состоит в том, чтобы довести значения этих критериев до максимальных показателей.

## **Список литературы**

- [1] ВЧ и СВЧ плазмотроны / С.В. Дресвин и др. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. 319 с. (Низкотемпературная плазма. Т. 6).
- [2] Рыкалин Н.Н., Сорокин Л.М. Металлургические ВЧ плазмотроны: Электро- и газодинамика. М.: Наука, 1987.
- [3] Цветков Ю.В., Панфилов С.А. Низкотемпературная плазма в процессах восстановления. М.: Наука, 1980.