

# ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ МЕТОДА СВОБОДНОГО СВС-СЖАТИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ КОМПАКТНЫХ ПЛИТ И ПЛАСТИН ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.М. Столин\*, П.М. Бажин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения Российской академии наук, Черноголовка, Россия

\*[amstolin@ism.ac.ru](mailto:amstolin@ism.ac.ru)

Ранее в работе [1] методом СВС-экструзии были получены электродные материалы на основе МАХ-фазы в виде длинномерных стержней диаметром 3, 8 и 10, длиной до 350 мм и пористостью 2–16%, проведены исследования структуры и эксплуатационных свойств этих материалов. По результатам лабораторных испытаний опытной партии образцов установлены составы материалов, которые можно рассматривать как перспективные для электролиза алюминия. В развитие этих работ была поставлена задача разработки технологии изготовления электродов в виде крупногабаритных пластин сложной формы размером 100x150 мм и толщиной 5–10 мм из материалов на основе МАХ-фазы. В связи с решением этой задачи на основе предварительных поисковых работ по выбору технологического метода получения заданных пластин были опробованы два метода: распространенный метод для получения пластин СВС-прессование [2] и метод свободного СВС-сжатия, ранее предложенный в работах [3, 4].

Общими недостатками технических решений при использовании СВС-прессования является то, что уплотнение продуктов синтеза осуществляют в режиме одностороннего сжатия в условиях пристенного внешнего трения по поверхности пресс-формы, что приводит к резкому уменьшению усилия прессования по высоте порошковой заготовки, и, как следствие, образование неравномерности распределения давления и пористости в изделии, особенно при соотношении высоты к диаметру исходной заготовки выше 2. Метод СВС-прессования для крупногабаритных изделий (габаритный размер более 100 мм) реализуется с использованием специализированного гидравлического пресса усилием 2000 т, обеспечивающее необходимые высокие давления прессования. Сложность использования сложного специализированного и вспомогательного оборудования является препятствием для широкого распространения метода СВС-прессования в технологической практике получения крупногабаритных изделий.

Формование изделий в условиях свободного СВС-сжатия по сравнению с одноосным уплотнением материала в условиях метода СВС-прессования имеет значительные преимущества, поскольку в этом методе используется наиболее благоприятная схема напряженного состояния при сдвиговом пластическом деформировании, способствующие к «залечиванию» макротрещин и пор в деформированном материале. Следует отметить также еще одно преимущество метода СВС-сжатия. Обычно, при СВС-прессовании используются специальные пресс-формы, которые должны выдерживать достаточно высокие давления (~1000 МПа) и высокие тепловые нагрузки (~2000 К). Геометрические размеры пресс-формы должны соответствовать габаритным размерам прессуемой заготовки. Нами предложен новый тип универсальной пресс-формы под произвольный размер исходной заготовки, в которой обеспечивается возможность высокотемпературного сдвигового пластического деформирования при свободном сжатии порошкового материала за счет поперечного перемещения боковых стенок по радиальным направляющим, кроме того прессуют заготовку при отношении высоты к диаметру выше 2. Обоснована возможность получения компактных без видимых дефектов пластин заданных габаритных размеров 100x150 мм и толщиной до 10 мм с угловым вырезом. Решена проблема изготовления специальной оснастки с использованием нагревательных элементов с учетом особенностей получения таких образцов. Важным преимуществом метода свободного сжатия является возможность использования более простого оборудования: нами использовался гидравлический пресс усилием 12 т, что в 166 раз меньше усилия гидравлического пресса 2000 т для СВС-прессования при получении крупногабаритных изделий, который в настоящее время имеется лишь в одном экземпляре.

Как общий итог проделанной работы, можно отметить следующее: обоснована возможность и перспективность использования метода свободного СВС-сжатия как нового способа получения электродов в виде пластин и плит различного функционального назначения. Принципиальной особенностью этого процесса является сочетание синтеза материала и формование изделий в одной технологическом цикле в одной установке.

Общие выводы по проведенному исследованию следующие:

– разработан технологический процесс СВС-сжатия для получения электродов в виде пластин требуемой геометрии и формы из материалов на основе МАХ-фазы системы Ti–Al–C и разработана технологическая оснастка для реализации процесса;

– изучено влияние состава исходных образцов на структуру и фазовый состав пластин, полученных методом свободного СВС-сжатия, определены оптимальные соотношения исходных компонент, при котором, с одной стороны, материал обладает максимальной пластичностью при формовании, а с другой, содержит максимальное количество МАХ-фазы в конечном продукте:

– экспериментально определены оптимальные технологические параметры процесса СВС-сжатия получения компактных электродов в виде пластин сложной геометрии;

– проведен фазовый и микроструктурный анализ полученных образцов из опытной партии, проведены испытания физико-химических и механических свойств электродов: прочности, жаростойкости, термостойкости и электросопротивления материалов.

Полученные результаты позволяют по-новому подойти к решению проблем получения электродов в условиях сочетания процессов СВС и сдвигового высокотемпературного деформирования.

## **Литература**

1. А.М. Столин, П.М. Бажин, О.А. Аверичев, М.И. Алымов, А.О. Гусев, Д.А. Симаков. Электродные материалы на основе МАХ-фазы системы Ti–Al–C. *Неорганические материалы*, 2016, т. 52, № 10, стр. 1–4
2. А.П. Амосов, И.П. Боровинская, А.Г. Мержанов. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов. Москва, «Машиностроение», 2007, 567 стр.
3. А.М. Столин, В.В. Козлов, А.В. Калугин. Процессы формования продуктов горения методом свободного СВС-сжатия. *ДАН*, 1999, т. 365, № 2, стр. 225–227.
4. А.М. Столин, П.М. Бажин, М.И. Алымов. Исследование деформирования продуктов СВС в условиях горения. *Неорганические материалы*, 2016, т. 52, №. 6, стр. 672–678. A.M. Stolin, P.M. Bazhin, and M.I. Alymov. Deformation of SHS Products under Combustion Conditions. *Inorganic Materials*, 2016, vol. 52, no. 6, pp. 618–624.