

- И. Степаненко А.В., Исаевич Л.А., Харлан В.Е. Обработка давлением порошковых сред. – Мн.: Наука і тэхніка, 1993. – 167 с.
9. Степаненко А.В., Исаевич Л.А., Харлан В.Е. Критерии пластичности материалов с необратимой сжимаемостью // Применение порошковых композиционных материалов и покрытий в машиностроении: Тез. докл. Урал. рег. конф. по порошковой металлургии и композиционным материалам. Пермь: Перм. политехн. ин-т, 1983. – С. 31.
10. Петюшик Е.Е., Реут О.П., Макарчук Д.В. Вариант уточнения условия пластичности дискретных сред // Проблемы инженерно-педагогического образования в Республике Беларусь: Материалы междунар. научно-практ. конф. / Под общ. ред. Б.М. Хрусталева. – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – С.291-296.
11. Петюшик Е.Е., Макарчук Д.В., Смалюк А.Ф. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния эластичной прессформы сложной формы // Потенциал науки – развитию экономики, культуры, личности: Материалы междунар. научн.-техн. конф. – В 2-х т. – Т. 1. Мн.: УП «Технопринт», 2002. – С. 107-112.

КОМПОЗИЦИОННЫЙ ПРОНИЦАЕМЫЙ БИПОРИСТЫЙ МАТЕРИАЛ

ПЕТЮШИК Т.Е.¹, РОМАНЕНКОВ В.Е.¹, ПЕТЮШИК Е.Е.²,
КАЛИНИЧЕНКО А.С.¹

¹Белорусский национальный технический университет,
220107 пр-т Партизанский, 77, Минск, Беларусь,

²Государственное научно-производственное
объединение порошковой металлургии, ул. Платонова. 41,
220005, Минск, Беларусь, e-mail: rom52@mail.ru

Существующие технологии обеспечивают получение пористых проницаемых материалов (ППМ) различных конструкций (гомогенные, многослойные, с изменяющейся структурой по заданному закону) в широком диапазоне размеров пор и пористости. В зависимости от вида используемых исходных структурообразующих элементов (порошки или волокна) имеет место ограничение по предельным структурным параметрам. Для волоконных материалов технологически проблематично получение малого размера пор (менее 10 мкм) [1], для порошковых материалов трудно достижимо получение высокой пористости (более 50%) при сохранении приемлемых прочностных свойств [2]. Это стало причиной разработки конструкций комбинированных ППМ, совмещающих различные структурообразующие элементы. Однако часто технологии их получения являются многоста-

дийными, а потому – энергоемкими, усложнен контроль качества на отдельных операциях. Кроме того, такое комбинирование приводит, как правило, к получению материалов, которые принципиально можно охарактеризовать как «пористый наполнитель – волокнистая матрица из компактного материала». То есть, функции, связанные с проницаемостью, выполняет лишь часть композита, образованная наполнителем, а матрица обеспечивает каркасные характеристики материала или изделий.

Особое место принадлежит бипористым материалам, для которых характерно наличие макропористости в общей структуре материала и микропористости на поверхности или в объеме структурообразующих элементов. Такие материалы перспективны для использования в процессах тепло-массообмена. Микропористость обеспечивает сорбционное движение жидкой фазы теплоносителя, а макропористость обеспечивает высокопроизводительную транспортировку газовой фазы. Известны такие материалы, например, на основе карбида титана [3], получаемые в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в системе Ti-C. Принципиально подобная структура формируется при гидротермальном синтезе оксида алюминия из мелко-дисперсных порошков алюминия [4]. Известны процессы изготовления спеченных бипористых изделий [5], включающий формирование заготовок из металлических порошков, их спекание и химическую обработку в окислительно-щелочном растворе с последующим нагревом в вакууме при температуре дегидратации гидроксидов. В результате на поверхности спеченных металлических частиц формируется пористый слой оксида того же металла, содержащий сеть микрокапилляров с эффективным размером пор 2 мкм. Процессы получения такого класса материалов основаны на высокой химической активности исходных структурообразующих элементов (порошков) по причине их высокой удельной поверхности. Во всех этих случаях получают материалы с хаотичной структурой на макро- и микроуровне, что характерно для большинства продуктов порошковой металлургии.

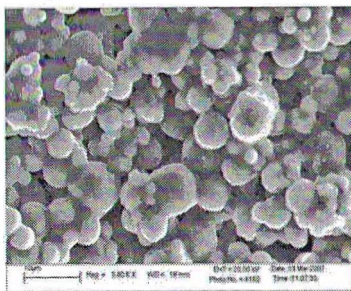


Рис. 1. Вид частиц порошка АСД-4 после гидротермальной обработки



Рис. 2. Вид поверхности проволоки АД-0 после гидротермальной обработки

Проведение настоящих исследований было направлено на исследование условий получения бипористых изделий с формированием упорядоченной структуры на макроуровне с возможностью ее регулирования в достаточно широких пределах.

В основу работы положена гипотеза о технологической осуществимости распространения возможностей гидротермального синтеза на обработку материалов не порошковых, как это обычно практикуют, а компактных (когда удельная поверхность материала не имеет значения и не принимается во внимание).

Проводился сравнительный визуальный анализ поверхности частиц порошка АСД-4 (рис. 1) и поверхности проволоки из алюминия АД-0 (рис. 2) после гидротермальной обработки при одинаковых режимах при 100°C [6]. Исследование морфологии поверхности структурообразующих элементов осуществляли с помощью растрового электронного микроскопа марки LEO 1455VP фирмы «Карл Цейсс», ФРГ.

В процессе синтеза на поверхности частиц алюминия формируется пористый слой гидроксида алюминия в виде общего каркаса, который и объединяет частицы алюминия в пористое тело. Межчастичные контакты, радиус которых равен ~4–5 мкм, также имеют пористое строение, обусловленное процессами кристаллизации из раствора. Поры в синтезированном материале образованы между определенным образом упакованными и соединенными в местах контакта композитными частицами $Al(OH)_3/Al$. Рентгеноспектральный микроанализ проводили с использованием энергодисперси-

онного SiLi – полупроводникового детектора фирмы «Röntec», ФРГ. Толщина гидроксидной пленки определяется степенью превращения алюминия, зависящей, главным образом, от длительности гидротермального синтеза. В предельном случае происходит полное превращение алюминия в гидроксид. Термообработка пористого композита при 550–600°C приводит к удалению структурной воды и к превращению гидроксида алюминия в активный оксид с увеличением удельной поверхности материала с 50 до 300 м²/г. Структура активного $\gamma-Al_2O_3$ представляет собой кристаллы с поперечным размером ~20–50 нм и длиной до 100–150 нм. Система таких кристаллов образует пористый слой с оценочным диаметром пор ~5–20 нм.

Аналогичная структура формируется и на поверхности

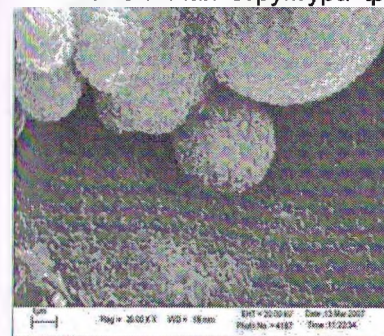


Рис. 3. Вид поверхности оксидированных частиц порошка и проволоки

алюминиевой проволоки, что подтверждается сравнением поверхности частиц порошка алюминия и поверхности проволоки, совместно подвергнутых гидротермальной обработке (рис. 3). При этом происходит образование контактов, консолидирующих частицы порошка и проволоку. Изложенное позволяет сделать вывод о том,

что выдвинутая гипотеза о возможности получения микропористой структуры на поверхности компактного алюминия находит экспериментальное подтверждение. Прежде чем переходить к технологическим аспектам получения бипористых изделий из непрерывного металлического волокна (проволоки), рассмотрим исходные предпосылки: возможности и результаты получения пористых изделий из проволоки [1]. Проволочные проницаемые материалы (ГрПМ) получают формированием тел намотки (с использованием различных видов укладки нити за исключением рядовой намотки) и их обработкой давлением (например, в условиях радиального обжатия).

Известно, что регулярная структура ПрПМ формируется, главным образом, на стадии изготовления тел намотки. Однородность структуры пористого изделия обеспечивается при минимальном количестве слоев намотки – 20. Формирование каркасных свойств ПрПМ осуществляется при обработке давлением тела намотки. При этом давление прессования проволочных тел намотки в диапазоне относительной плотности 0,5–0,8 в 1,3–2,1 раза меньше, чем порошковых тел. Оказывается возможным и повышение ряда показателей проницаемых материалов из проволоки по сравнению с ППМ: по параметру эффективности E_1 проволочный материал в 1,5–1,8 раза превосходит порошковые, приближаясь к сетчатым; по временному сопротивлению разрыву в 1,3–3,5 раза превосходит порошковые при соизмеримой пористости, а при пористости выше 50% в 1,6–2 раза – материалы из дискретных волокон.

Таким образом, ПрПМ являются перспективными для получения на их основе бипористых проницаемых материалов и изделий, поскольку исходно имеют регулируемую упорядоченную структуру, являющуюся «шаблоном» макроструктуры бипористого тела.

Предложенный по результатам проведенных исследований способ изготовления проницаемых бипористых изделий включает формирование проволочной заготовки в виде тела намотки послойной крестообразной намоткой алюминиевой или алитированной проволоки постоянного или переменного сечения, обработку тела намотки давлением (радиальное прессование) и химическую обработку деформированного тела намотки, состоящую в обработке водой или водяным паром с частичным или полным превращением алюминия в гидроксид. Как вариант технологии – формирование тела намотки и обработка его водой или водяным паром, минуя этап прессования, что возможно благодаря установленному экспериментально явлению формирования межчастичных контактов на границе порошок – проволока (см. рис. 3). В последнем случае формирование каркасных свойств проволочного бипористого материала (изделия) происходит за счет роста оксидных мостиков в местах контакта витков проволоки. Еще один вариант технологии предполагает двойную химическую обработку материала: после

частичного превращения алюминия в гидроксид тело намотки подвергают радиальному обжатию или радиальной раздаче с последующей окончательной обработкой водой или водяным паром с частичным (с большей степенью превращения по отношению к исходной) или полным превращением алюминия в гидроксид [7]. Во всех случаях может иметь место нагрев пористого тела на воздухе при температуре дегидратации гидроксида алюминия.

Особенности результата получения бипористого тела по тому или иному технологическому способу состоят в следующем.

Тело намотки из алюминиевой или алитированной проволоки подвергают обработке водой или водяным паром, что приводит к частичному или полному превращению алюминия в гидроксид $Al(OH)_3$.

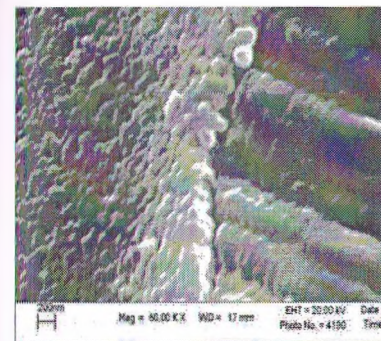


Рис. 4. Вид образующегося на поверхности проволоки слоя гидроксида алюминия

Такое превращение [4] сопровождается образованием на поверхности проволоки, начиная с периферии (рис. 4), слоя гидроксида алюминия (с некоторым увеличением его объема по сравнению с объемом исходного алюминия), который в местах контактов проволоки исходного тела намотки образует между витками пористые контакты. Таким образом, образуется связанное бипористое тело, в котором макроструктура образована витками тела намотки, а микроструктура образуется в виде пористого слоя на поверхности алюминиевой проволоки в случае частичного превращения алюминия в гидроксид, или в виде полностью мелкопористой структуры в объеме исходной проволоки при условии полного превращения алюминия в гидроксид. При использовании алитированной проволоки в гидроксид частично или полностью превращается только плакирующий проволоку слой алюминия с образованием пористых контактов между витками и пористого слоя из гидроксида алюминия на всей свободной поверхно-

сти проволоки. Каркас бипористого тела в этом случае образует материал исходной проволоки. Во всех случаях степень превращения алюминия в гидроксид определяется длительностью обработки водой или водяным паром. При частичном превращении алюминия в гидроксид способ позволяет получать наименее плотную макроструктуру бипористого тела.

При обработке водой или водяным паром деформированного тела намотки существует возможность управлять макроструктурой полученного бипористого тела за счет изменении плотности тела намотки в процессе радиального обжатия [1]. Способ позволяет получать более плотную макроструктуру бипористого тела по сравнению с описанным выше.

Способ, предполагающий после частичного превращения на поверхности проволоки алюминия в гидроксид радиальное обжатие или радиальную раздачу тела намотки с последующей окончательной обработкой водой или водяным паром с частичным или полным превращением алюминия в гидроксид, позволяет получать наиболее плотную макроструктуру бипористого тела, поскольку в процессе промежуточного обжатия (раздачи) происходит частичное разрушение пористого слоя гидроксида с заполнением его частицами макропор заготовки (тела намотки). Окончательная обработкой водой или водяным паром заготовки приводит к консолидации за счет вновь образующихся пористых контактов между витками проволоки. Предлагаемая промежуточная обработка давлением заготовки способствует также повышению размерной точности бипористого изделия.

Предложенный способ позволяет получать проникаемые бипористые изделия из композиционных материалов Al-Al(OH)₃ – металл, Al₂O₃ – металл. При этом макроструктура готовых изделий формируется преимущественно на стадии получения проволочных тел намотки и их обработки давлением. Регулярность макроструктуры обеспечивается технологически благодаря возможности точного позиционирования витков проволоки при формировании тела намотки. Прогнозируемое изменение размера пор макроструктуры достижимо при использовании закономерно изменяющегося по мере перехода от слоя к слою поперечного размера и

формы сечения проволоки. Этим обеспечивается получение заданной анизотропной макроструктуры материала изделия. Пористость макроструктуры регулируется в процессе радиального обжатия (раздачи) тела намотки за счет изменения давления обжатия. Объем микропористого материала в составе бипористого изделия определяется технологическими режимами процесса обработки водой или водяным паром [8].

Таким образом, представляется технологически осуществимым получение нового класса бипористых изделий с регулярной макроструктурой и заданными характеристиками микроструктуры на поверхности структурообразующих элементов.

Литература:

1. Петюшик Е.Е., Реут О.П., Якубовский А.Ч. Основы деформирования проволочных тел намотки. Мн.: УП «Технопринт», 2003. – 218 с.
2. Пористые проникаемые материалы: Справочник / Под ред. С.В. Белова. – М.: Металлургия, 1987. – 335 с.
3. Реут О.П., Богинский Л.С., Петюшик Е.Е. Сухое изостатическое прессование уплотняемых материалов. – Мн.: Дзбор, 1998. – 258 с.
4. Пористые композиты на основе оксид-алюминиевых керметов. Синтез и свойства / С.Ф.Тихов, В.Е.Романенков, В.А.Садыков, В.Н.Пармон, А.И.Ратько // Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал "Гео", 2004. – 205 с.
5. А.с. СССР № 1491613 МКИ⁴ В 22 F 3/10, 7/02, бюл. № 25, 1989.
6. Петюшик, Т.Е. Пористые материалы на основе композитов Al₂O₃/Al // Инженерно-педагогическое образование в XXI веке: Материалы II-й республик. научно-практ. конф. – Минск, 2006 – С. 395-399.
7. Заявка РСТ/BY2008/000003. Porous composite metal-ceramic materials / U.Ramanenkau, Y.Piatsiushyk, A.Kalinichenko, L.Vasiliev – Заявл. 25.03.2008.
8. Петюшик, Т.Е. Способ изготовления проникаемых бипористых изделий / Т.Е. Петюшик, В.Ю. Литецкий // Инженерно-педагогическое образование в XXI веке: Материалы III-й республик. научно-практ. конф. – Минск: БНТУ, 2007 – С. 335 – 341