



ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

УДК 621.762

А.М. ЯРКОВИЧ, канд. техн. наук
Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, г. Минск

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ МЕТОДАМИ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ В ИНСТИТУТЕ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ НАН БЕЛАРУСИ

Одним из методов получения композиционных материалов и изделий является порошковая металлургия, которая по сравнению с традиционными технологиями (литьем, механической обработкой, обработкой давлением) является наиболее экономичным методом. В Институте порошковой металлургии НАН Беларуси разработан ряд технологий: производство высокопористых ячеистых материалов (пенометаллы) на основе никеля, железа, титана; получение пористых каркасов на основе углеволокна «Карбопон-актив» («Светлогорское ПО «Химволокно»); высокоскоростное газопламенное напыление многокомпонентных порошковых покрытий для защиты от износа и коррозии рабочих поверхностей деталей; инжекционное формование золотниковых пар керамического клапана распределителя.

Ключевые слова: композиционные материалы, порошковая металлургия, пенометаллы, инжекционное формование, высокоскоростное газопламенное напыление

Темпы и уровень развития современного машиностроения зависят не только от применяемого технологического оборудования, его точности и степени автоматизации, но и от уровня физико-механических и эксплуатационных свойств машиностроительных материалов, используемых для изготовления деталей и узлов машин. Композиционные материалы находят все большее применение, особенно в ответственных узлах, испытывающих высокие удельные нагрузки, температуры и т. д. [1].

Одним из методов получения композиционных материалов и изделий является порошковая металлургия, которая по сравнению с традиционными технологиями (литьем, механической обработкой, холодной и горячей обработкой давлением) за счет получения изделий с размерами, близкими к окончательным, и минимального количества операций является наиболее экономичным.

Являясь головным структурным подразделением Объединения порошковой металлургии, Институт порошковой металлургии НАН Беларуси видит свою основную задачу в углублении фундаментальных исследований в области современных процессов порошковой металлургии и доведении их результатов до промышленного освоения.

В Институте порошковой металлургии НАН Беларуси [2–3] разрабатываются композиционные материалы с металлической матрицей (в частности, на основе меди), армированные углеродным волокном. Введение в состав медных сплавов взамен порошкового графита углеродного волокна повышает прочностные и теплофизические характеристики антифрикционных материалов системы «медь — графит». Основной предпосылкой для такого повышения характеристик является то, что углеродное волокно характеризуется относительно высокими прочностными характеристиками, которые при нагреве не уменьшаются, как у большинства материалов, а даже несколько возрастают. Технология изготовления образцов композиционного материала включает в себя создание пористой заготовки на основе углеродного волокна с последующей вакуумной инфильтрацией расплавом на основе меди.

Исследованы процессы получения пористых каркасов на основе углеволокна «Карбопон-актив» («Светлогорское ПО «Химволокно»). Для улучшения его смачивания расплавом разработаны процессы нанесения никеля и сульфида меди на поверхность углеродного волокна.

На рисунках 1 и 2 представлены фотографии покрытий на углеродном волокне. Спектральный анализ (рисунки 3 и 4) показал наличие значительного количества примесей как в покрытиях, так и сорбированных волокном в процессе их химической обработки. Следует отметить неоднородность толщины покрытий по толщине образцов.

Введение металлического титана позволило существенно улучшить смачиваемость углеродно-

го волокна медью и бронзой и добиться сквозной пропитки образцов. Таким образом, оптимальной стратегией получения композиционных материалов системы «Cu — C_f», является инфильтрация пористых заготовок на основе углеродного волокна коммерчески реализуемыми сплавами на основе меди с равномерным распределением компонентов, содержащими карбидообразующие элементы, такие как титан, хром и др.

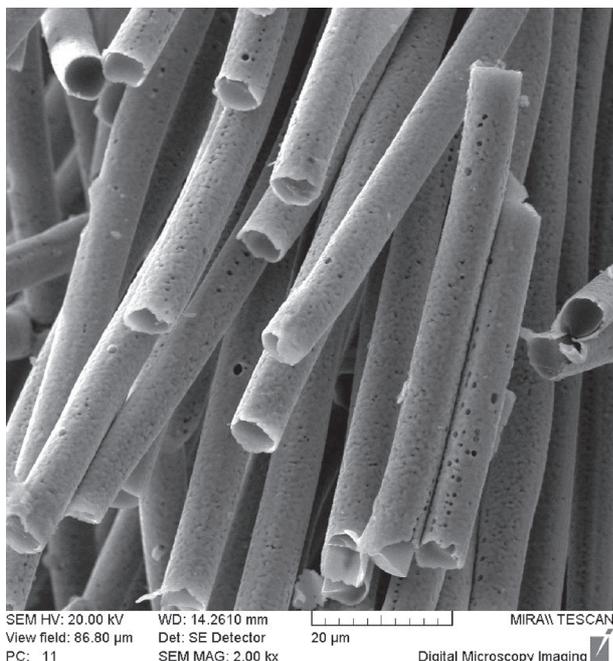


Рисунок 1 — Покрытие Ni на углеродном волокне

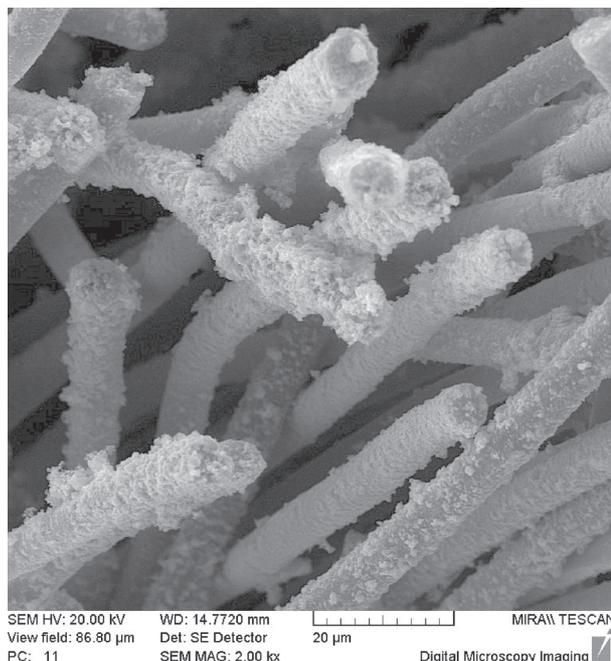
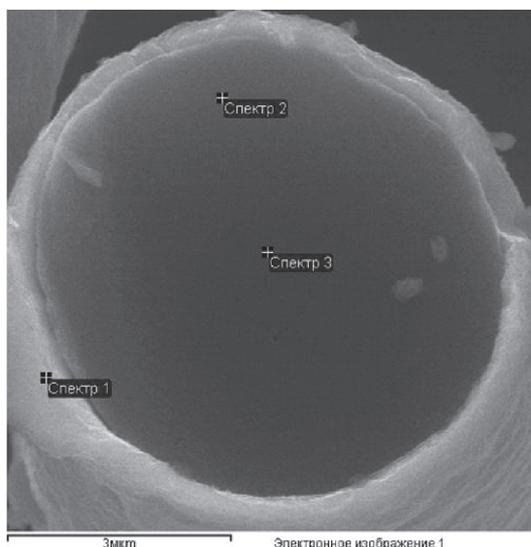
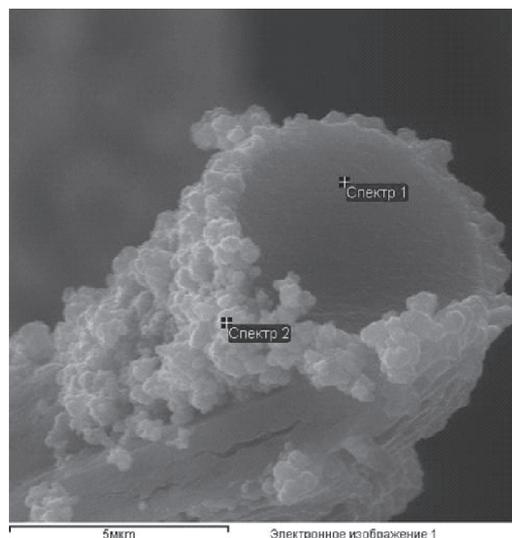


Рисунок 2 — Покрытие CuS на углеродном волокне



Спектр	C	Si	S	Fe	Ni
	%	%	%	%	%
Спектр 1		1,07	1,02	5,38	92,52
Спектр 2	88,96	0,16	0,74	0,56	6,58

Рисунок 3 — Результаты спектрального исследования покрытия Ni на углеродном волокне



Спектр	C	Mg	Si	S	Cl	Ca	Fe	Cu
	%	%	%	%	%	%	%	%
Спектр 1	74,45	0,20	0,16	8,20	0,50	0,18	0,85	15,45
Спектр 2		1,41	0,25	34,27	0,60	1,25	2,43	59,79

Рисунок 4 — Результаты спектрального исследования покрытия CuS на углеродном волокне

Одним из направлений повышения ресурса и восстановления работоспособности изношенных поверхностей деталей машин является упрочнение их рабочих участков путем формирования защитных слоев из композиционных порошков, порошковых шнуров методами газопламенного, плазменного напыления, электродуговой металлизации. Газопламенное напыление многокомпонентными порошковыми механическими смесями, состоящими из пластичной матрицы и частиц высокотвердых, инертных материалов является одним из эффективных методов упрочнения рабочих поверхностей уплотнений насосов. Разработан технологический процесс высокоскоростного газопламенного напыления многокомпонентных порошковых покрытий для защиты от износа и коррозии рабочих поверхностей уплотнений насосов, работающих в условиях активных сред и абразивного изнашивания, из многокомпонентного порошкового материала на основе Fe-Ni [4]. Процесс характеризуется высокой производительностью — 6–8 кг/час при коэффициенте использования материала 0,65–0,75.

В качестве основного базового материала для механических смесей использован порошок ПТ-19Н-01. В качестве добавок — порошки Т-Термо 655, оксиды железа «окалина» и аморфный порошок на основе Fe. Покрытия наносили аппаратом-распылителем «ТЕНА» газопламенным методом.

Установлено, что максимальное среднее значение микротвердости покрытия из смеси с добавлением FeV — $HV\ 614,6 \cdot 10^7\ Н/м^2$, с добавлением Т-Термо — $HV\ (655-603) \cdot 10^7\ Н/м^2$, а с окалиной — $HV\ 460,5 \cdot 10^7\ Н/м^2$. При этом пористость покрытий из смеси с FeV находится в пределах 4,7–5,0 %, механической смеси с 30 % Т-Термо 655 находится в пределах 5,9–6,7 %, а с добавлением окалины — 5,6–6,3 %.

Технология обеспечивает сохранение стабильной структуры и отсутствие деградации свойств материала на всей рабочей поверхности при напылении и в процессе последующей эксплуатации, уменьшение эффективной толщины покрытия (обеспечивающей требуемый ресурс эксплуатации в условиях интенсивного изнашивания, связанного с одновременным воздействием трения, коррозии, эрозии и кавитации) до 0,6–0,8 мм. Технология внедрена на участке ОАО «Бобруйский машиностроительный завод».

Разработан технологический процесс восстановления плунжеров трехплунжерных насосов марки NJ 116 ВА фирмы «РМН» — Франция, которые на ОАО «Нафтан» перекачивают агрессивные жидкости. Основными стадиями его являются: снятие изношенного слоя толщиной 0,35–0,4 мм методом шлифования; струйно-абразивная обработка напыляемой поверхности; газопламенное напыление покрытия толщиной 0,7–0,8 мм; оплавление покрытия газопламенной горелкой; охлаждение детали с покрытием в песке; шлифование детали до размера 55 мм. Напыление покрытий производили с расходом порошка 7–8 кг/час при расходе горючего газа —

1200 л/ч, кислорода — 6000 л/час и воздуха — около 20 000 л/час. При этом порошки должны иметь размеры частиц до 63 мкм. Коэффициент использования порошка находился в пределах 70–85 %.

Для защиты рабочих поверхностей плунжеров предложено использовать непроницаемые покрытия, обладающие высокой твердостью и износостойкостью. Такими свойствами обладают покрытия из порошков самофлюсующихся никелевых сплавов типа ПГ-10Н-01, ПР-Н70Х17С4Р4 и Т-Термо-55. Определены основные технологические режимы процесса напыления покрытий из порошков самофлюсующихся сплавов аппаратом-распылителем «ТЕНА», снабженным специальным сопловым модулем. Коэффициент использования порошка находится в пределах 70–85 %.

Металлографические исследования показали, что все покрытия после оплавления наследуют структуру исходных порошков и содержат дендритные рисунки, соответствующие твердому раствору на основе никеля с твердостью $HV\ (280...365) \cdot 10^7\ Н/м^2$, а также сложную эвтектику Ni-Ni₃B твердостью — $HV\ (565...820) \cdot 10^7\ Н/м^2$ и включения первичных кристаллических образований различной формы и размеров с твердостью $HV\ (1080...3900) \cdot 10^7\ Н/м^2$, среди которых можно выделить кристаллы карбидов хрома Cr₇C₃ и Me₂₃C₆ — $HV\ (1080...1450) \cdot 10^7\ Н/м^2$, боридов хрома Cr₇B и Cr₅B₄ — $HV\ (1800...2400) \cdot 10^7\ Н/м^2$ и сложные соединения типа карбоборидов — $HV\ (2800...3900) \cdot 10^7\ Н/м^2$. Хром, не вступивший в реакцию с углеродом и бором, входит в твердый раствор на основе никеля. Кремний входит в состав боросиликатов, играющих роль флюсов. Восстановленные и упрочненные плунжеры были установлены в январе 2006 г. в насосы марки NJ 116 ВА и успешно эксплуатируются в условиях ОАО «Нафтан» до настоящего времени.

Разработанные технологии успешно применяются для восстановления и других деталей — вкладышей, штоков насосов, роторов винтового компрессора, плунжеров (рисунок 5).

В Институте порошковой металлургии НАН Беларуси разработана технология производства высокопористых ячеистых материалов (пенометаллы) на основе никеля, железа, титана [5]. Благодаря способности к пластической деформации при постоянном напряжении эти композиции являются классическими демпфирующими материалами для поглощения механической энергии при динамических нагрузках.

На основании проведенных исследований, варьируя структурные и каркасные характеристики, созданы демпфирующие пеноматериалы на основе Ni, Fe-Ni и Ti с требуемым комплексом свойств для применения в различных областях техники.

Разработана методика исследования демпфирующих свойств пенометаллов МИ 019/2011 «Материалы высокопористые ячеистые металлические определение демпфирующих свойств». Демпфирующие

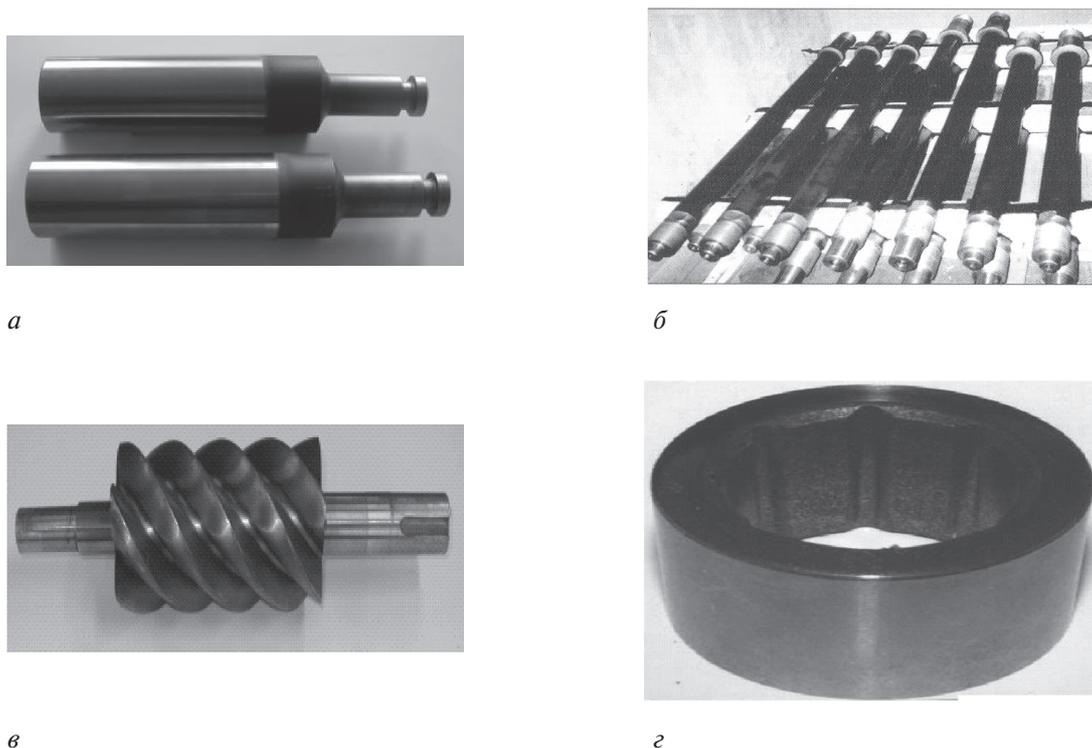


Рисунок 5 — Детали, восстановленные газопламенным напылением:
 а — плунжеры; б — штоки насосов; в — ротор винтового компрессора; г — вкладыш

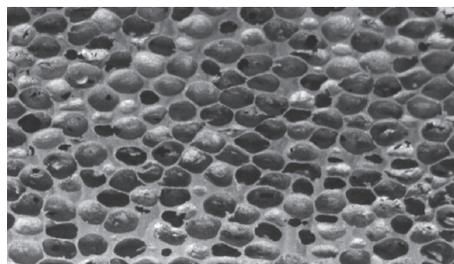
свойства пеноматериалов в достаточной степени можно охарактеризовать параметрами — пределом текучести (σ_T), количеством поглощенной механической энергии (C) и эффективностью поглощения механической энергии (E_p) при статическом сжатии.

На основании проведенных исследований разработана технология получения пенометаллов методом электрохимического дублирования открыто-ячеистого пенополиуретана (ППУ) (рисунок 6).

Пенометаллы на основе титана характеризуются высокой удельной прочностью (при комнатной температуре превосходит все металлы и большинство легированных сталей) и высокой коррозионной стойкостью (превосходят коррозионно-стойкую сталь и приближаются к благородным металлам). Такое сочетание физико-механических и коррозионных свойств расширяет возможности использования высокопористых металлов в качестве демпферов для систем пассивной безопасности в авто- и строительной технике.

Разработки в области порошковой металлургии в последнее время были направлены на значительное усложнение геометрии получаемых изделий. При обычном прессовании имеется ограничение двумя-тремя размерами в сечении матрицы. Имеется ряд разработок, которые в той или иной степени преодолевают эти ограничения и позволяют найти свою нишу на рынке порошковой продукции. К одному из этих направлений следует отнести инъекционное формование, которое, как правило, используется при формовании небольших тонкостенных деталей [6].

Технология инъекционного формования порошковых материалов (powder injection molding — PIM)



а



б

Рисунок 6 — Технология получения пенометаллов методом электрохимического дублирования открыто-ячеистого пенополиуретана (ППУ): а — структура ячеистого материала; б — изделия из высокопористых ячеистых материалов

основана на использовании литья под высоким давлением термopластичных масс из высокодисперсных металлических (metall injection molding — MIM) или керамических (ceramic injection molding — CIM) порошков и полимерного связующего вещества, термического, сольвентного или каталитического удаления связующего в специальной печи для дебайндинга и окончательном высокотемпературном спекании их в защитной атмосфере или в вакууме.

Технология инжекционного формования керамики существенно отличается от литья под давлением, в первую очередь, за счет использования высоких давлений впрыска термopластичной массы в литьевую форму (от 10 до 200 МПа), которые создаются машинами инжекционного литья плунжерного или шнекового типа. Использование более высоких давлений при CIM процессе улучшает качество материала отливок, благодаря уменьшению количества дефектов типа раковин, пор, и тем самым увеличивает выход годных изделий на различных стадиях технологической обработки. При этом также существенно улучшаются физико-механические свойства спеченного изделия.

CIM процесс снимает практически все ограничения по сложности формы изготавливаемой детали. На рисунке 7 представлены типовые детали, полученные CIM процессом.

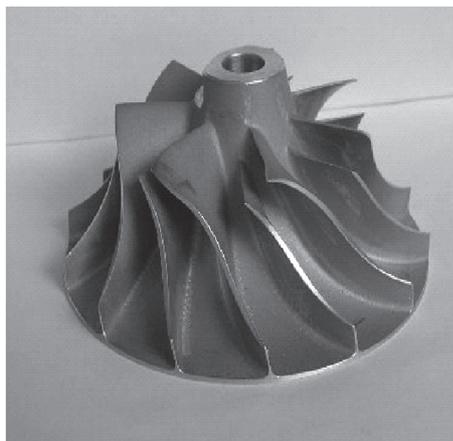
Возможность получения практически любой поверхности CIM процесс позволяет придавать поверхностям формируемых деталей практически любые свойства — от очень гладких до текстурированных. В настоящее время CIM технология позволяет получать детали с минимальной толщиной сечения от 0,5 до 30 мм с допусками в пределах 0,1 мм на каждые 25 мм линейных размеров детали.

В Институте порошковой металлургии НАН Беларуси технология инжекционного формования керамики развивается на базе установки Allrounder 170U 150-70 (рисунок 8). Ее технические характеристики следующие:

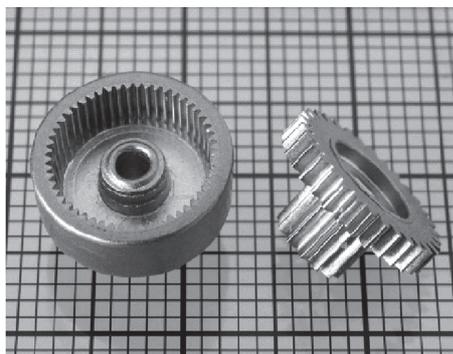
- расстояние между плитами смыкания — 350 мм;
- расстояние между колоннами — 170 × 170 мм;
- усилие смыкания — 150 кН;
- диаметр шнека — 22 мм;
- расчетный максимальный объем впрыска — 34 см³;
- максимальное давление впрыска — 200 МПа;
- максимальная температура нагрева сопла — 200 °С.

Изучены основные свойства керамики на основе оксидов алюминия и циркония, которые приведены в таблице.

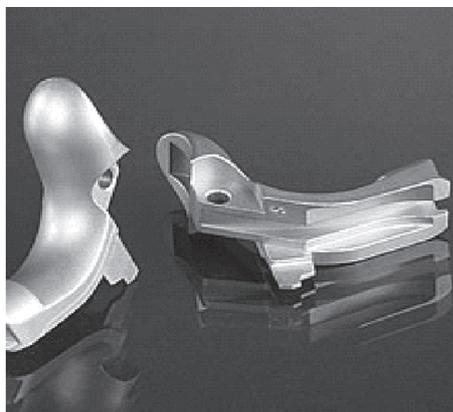
В настоящее время освоен выпуск методом инжекционного формования золотниковых пар керамического клапана распределителя пневматического РП-01, который используется в кранах управления пневмоподвеской грузовых автомобилей, осваиваемых УП «ММЗ им. Вавилова» и УП «Завод точного машиностроения «Планар-ТМ», плиток керамических для футеровки спирали транспортного шнека и рабочих барабанов центрифуг «Andritz» и



а



б



в

Рисунок 7 — Типовые детали, полученные CIM процессом

«Humboldt-Berd» (Германия) для перекачки соляных растворов на сальвинитно-обогащительных фабриках РУП ПО «Беларуськалий», нитепроводной и поддерживающей гарнитуры для производства различных видов нитей на РУП «Светлогорское ПО «Химволокно», РУП «Могилевское ПО «Химволокно», ОАО «Полоцк-Стекловолокно» и др., керамических втулок для розжига газовой плиты для ОАО «Брестский завод газовой аппаратуры», керамических корпусов наручных часов в престижных внешних оформлениях для ОАО «Минский часовой завод» и др.



Рисунок 8 — Установка инъекционного формования Allrounder 170 U 150-70

Таблица — Свойства керамики на основе оксидов алюминия и циркония, полученной по СИМ технологии

Свойства	Керамика на основе оксида алюминия	Керамика на основе диоксида циркония
Плотность, г/см ³	3,8–3,9	5,90–5,95
Модуль Юнга, ГПа	350–400	200–220
Предел прочности при изгибе, МПа	300–450	400–600
Коэффициент вязкости разрушения, МПа · м ^{1/2}	3,5–4,0	5–6
Твердость, HV	1500–2000	1350–1420
ТКЛР (20–1000 °С), 10 ⁻⁶ /К	7–8	9,3–11,0
Теплопроводность, Вт/м · К	25–30	2,7–3,5

Примеры изделий, изготовленных по СИМ технологии в ГНУ «Институт порошковой металлургии НАН Беларуси» из ультрадисперсных и наноразмерных порошков, приведены на рисунке 9.

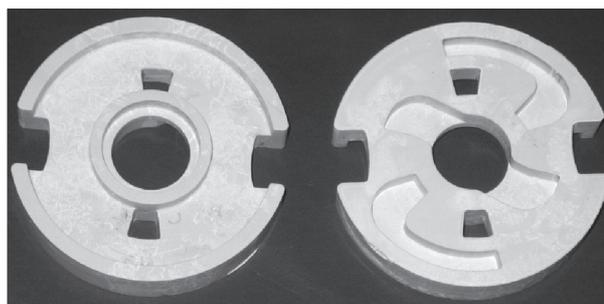


Рисунок 9 — Экспериментальные образцы деталей золотниковой пары системы пневмопривода тормозов автомобилей, полученные методом СИМ из керамики на основе Al₂O₃

Список литературы

1. Ильющенко, А.Ф. Ресурсосберегающие наукоемкие технологии — основа современного производства / А.Ф. Ильющенко // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. — 2007. — Т. 51 (Спецвыпуск). — С. 170–178.
2. Изменение структурных характеристик заготовок на основе углеродной нити «Урал» при пропитке / пиролизе лекового прекурсора / А.Ф. Ильющенко [и др.] // Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология: Сб. докл. VIII Междунар. конф., 25–28 сент. 2012 г., г. Троицк, Россия. — С. 360–365.
3. Ильющенко, А.Ф. Получение трехмерных каркасов из углеродной нити с применением сборки на стержнях / Е.Е. Петушок, О.А. Прохоров, А.А. Дробыш // Порошковая металлургия: Респ. межвед. сб. научн. тр. — 2011. — Вып. 34. — С. 42–45.
4. Манойло, Е.Д. Газопламенное напыление покрытий / Е.Д. Манойло // Инженер-механик. — 2011. — № 4. — С. 26–34.
5. High-porosity titanium foams by powder coated space holder compaction method / O. Smorygo // Materials Letters. — 2012. — Vol. 83. — Pp. 17–19.
6. Ильющенко, А.Ф. Технология, оборудование и возможности инъекционного формования керамики в ГНУ ИПМ НАН Б, области применения изделий в Республике Беларусь / А.Ф. Ильющенко, С.Г. Барай, Д.А. Виолентий // Инженерия поверхности. Порошковые композиционные материалы. Сварка: сб. — 2009. — Ч. 2. — С. 203–208.

Yarkovich A.M.

Development of new technologies for obtaining composite materials and products by powder metallurgy in SSI PMI

One of the methods for production of composite materials and products is the powder metallurgy, which is the most economical method compared to conventional technologies (casting, machining, pressure treatment). SSI PMI has developed a number of technologies: production of highly porous cellular materials (foam metals) based on nickel, iron, titanium; production of porous frameworks based on carbon felt «Karbopon-active» (Svetlogorsk PA «Khimvolokno»); high-speed flame spraying of multicomponent powder coatings to protect the working surfaces of parts against corrosion and wear; injection molding of spool pairs of distributor ceramic valve.

Keywords: composite materials, powder metallurgy, foam metals, injection molding, high speed flame spraying

Поступила в редакцию 28.03.2013.