

## Глава 3

### РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИОННЫХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В «НАУЧНОМ ЦЕНТРЕ ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ ГОУВПО «ПЕРМСКИЙ ГТУ»

В.Н. АНЦИФЕРОВ, С.А. ОГЛЕЗНЕВА



Пермский край играет значимую роль в процессе формирования Федерального бюджета, входя в число немногочисленных регионов-доноров. Наличие специализированных научных центров и высококвалифицированных кадров обеспечивают лидирующие позиции машиностроения Пермского края в российском производстве авиационных и ракетных двигателей, топливной аппаратуры, газоперекачивающих агрегатов и газотурбинных электростанций, нефтепромышленного оборудования, аппаратуры цифровых и волоконно-оптических систем передачи информации, навигационной аппаратуры. Metallургическая промышленность представлена предприятиями по производству и переработке черных, цветных и редкоземельных металлов, а также предприятиями порошковой металлургии. В области работает единственное в России предприятие по производству титановой губки. Подавляющая часть от общероссийских объемов производства магния принадлежит компаниям Пермского региона.

Научный центр порошкового материаловедения Пермского ГТУ, развивая традиции основоположников порошковой металлургии П.Г. Соболевского и В.В. Любарского, выполнивших свои знаменитые опыты еще в 1826 г. на металлургическом заводе г. Воткинска, что в 200 км от Перми, вносит значительный вклад в развитие науки, промышленности, медицины Пермского края.

Политические изменения в стране за последние десятилетия, расширение международного сотрудничества, предполагаемое вступление в ВТО и перестройка экономики, связанная с направлением основных ресурсов на гражданские нужды, требуют увеличения производительности труда и внедрения высоких технологий. Не секрет, что именно это направление развития экономики систематически отставало в СССР и продолжает отставать в Российской Федерации по сравнению с развитыми странами.

Порошковая металлургия является одной из перспективных технологий металлургического и машиностроительного производства и способна соответствовать требованиям экономического и научно-технического развития страны. Методы порошковой металлургии позволяют не только создавать материалы с новыми качественными и прочностными характеристиками, но и внедрять безотходные и малоотходные технологии производства материалов и изделий различного назначения, резко повышать производительность труда, понижать себестоимость продукции, широко внедрять автоматические системы и технологические процессы. В некоторых производствах доля деталей, изготовленных методом порошковой металлургии, является важным показателем соответствия изделия мировым стандартам качества.

Созданная в 1972 г. вслед за Проблемной лабораторией Белоруссии Проблемная научно-исследовательская лаборатория порошковой металлургии в 1986 г. была преобразована в Республиканский инженерно-технический центр порошковой металлургии (РИТЦ ПМ), а в 1991 г. в составе Центра был организован НИИ проблем порошковой технологии и покрытий. В 1999 г. полноправным преемником РИТЦ ПМ стал Научный центр порошкового материаловедения.

Научный Центр хорошо известен в России и зарубежных странах своими достижениями, занимает ведущее место в России в области порошковой металлургии и создания новых функциональных материалов и представляет собой современный научно-исследовательский комплекс с опытным производством, позволяющий проводить полный цикл работ – от фундаментально-теоретических до создания технологий получения материалов, деталей и конструкций, подготовки технологической и конструкторской документации и внедрения в производство. Научные работы ведутся по фундаментальным и инновационным проектам целевых научно-технических государственных программ России и проектам РФФИ. По заказам предприятий Центр выпускает изделия, полученные методом порошковой металлургии, и занимается внедрением своих разработок на предприятиях Уральского региона и России. Центр имеет широкие связи с десятками научных организаций страны, сотрудничает и осуществляет обмен научно-технической информацией с зарубежными партнерами из Финляндии, Японии, Германии, Индии, Австрии и других стран.

В научном центре развиваются несколько основных направлений, соответствующим мировым направлениям: 1) изготовление изделий практически любой формы, высокой плотности,

прочности и твердости из однородных металлических и керамических порошковых материалов с высокой производительностью и невысокой себестоимостью процессов, конкурентоспособных по этим показателям с традиционными металлургическими производственными процессами; 2) изготовление уникальных композиционных материалов, производство которых невозможно другими методами; 3) материалы с покрытиями; 4) наноматериалы; 5) волокнистые материалы; 6) пористые материалы и другие.

За минувшее время результаты исследований, проведенных сотрудниками Центра, были отражены в более чем 1500 научных публикациях, в том числе издано около 40 монографий, более 15 препринтов и депонированных рукописей, опубликовано в центральной печати порядка 400 статей; ими получено более 300 авторских свидетельств и патентов РФ, выпущено 24 сборника научных трудов. Научные работники организации принимают активное участие в конференциях, в том числе и международных, их разработки систематически демонстрируются на российских и международных выставках, где неоднократно отмечены медалями, дипломами и грамотами. Коллектив Центра многократно лауреат государственных и других премий.

Центр оснащен необходимым исследовательским и технологическим оборудованием. Для полноценных научных исследований Центром только за последние 2 года приобретен целый ряд самого совершенного научного оборудования, в их числе:

металлографический комплекс пробоподготовки «Struers»; атомно-силовой микроскоп «Nano-Scan»; туннельный микроскоп (СТМ) с компьютерным комплексом; автоэмиссионный растровый (сканирующий) микроскоп сверхвысокого разрешения «Zeiss Ultra 55»; компактный универсальный спектрометр «СПАС-01»; многофункциональный дисперсионный спектрометр комбинационного рассеяния света «Senterra»; установки для определения триботехнических и механических характеристик «ТК-1», «Instron-1195», дифрактометр «XRD-6000 Shimadzu»; термомеханический анализатор/дилатометр с температурой до 2400 °С; прибор для определения удельной поверхности по методу БЭТ; прибор для измерения удельной поверхности «Sorbi» № 4.1; прибор для определения удельной поверхности материалов методом тепловой десорбции аргона «Сорботметр»; вискозиметр «Rheotest» модель RN 4.1; твердомер «Ergotest DIGI 25», для определения твердости различными методами; установка для автоматического определения электропроводности контактных материалов «Karwey Atlant» с компьютерным комплексом; измеритель теплопроводности «КИТ-02Ц-1» с компьютерным комплексом; установки для высокотемпературных испытаний керамики на сжатие, для определения коэффициента проницаемости газов и жидкостей; исследовательская установка с комплексом приборов для изучения процессов нанесения газофазных пиролитических покрытий с нанокристаллической структурой на проницаемые сетчато-ячеистые материалы; лазерный анализатор размера частиц «Анализетте 22 NanoТес» для измерений в сухой и жидкой средах; сканирующий фотоседиментограф «СФ-2» для определения гранулометрического анализа порошков в диапазоне крупности частиц от 100 до 2 мкм; дисковая центрифуга «CPS Disc Centrifuge» с автоматической системой инъекции образцов Установка плазмохимического газофазного роста алмазных пленок «Seki Technotron»; установка ионного азотирования «IONITECH»; установка плазменного напыления «Sulzer Metco», установка роста углеродных нанотрубок CVDomna, установка UniCoaT 600 для нанесения упрочняющих нанокомпозитных покрытий, установка получения безметаллических каркасов из оксида циркония Cercon Smart Ceramic; литейная установка PWN-160; станок электроэрозионный прошивной; электроэрозионный станок «ЕКАТ»; обрабатывающий центр MB-46VA OKUMA; лабораторный каталитический комплекс и другие.

Результатом выполнения исследований с помощью современных приборов стали некоторые из основных разработки Научного центра за последнее время, представленные ниже.

#### **1) В области металлических сплавов:**

– стали и сплавы, полученные с использованием нанопорошков, конструкционного, специального, прецизионного назначения. Стали изготовлены из микронных порошков с осажденными на них химико-металлургическим методом нанопорошками легирующих элементов, рис. 1. Введение нанопорошков понижает энергию активации спекания в 2-3 раза, обеспечивают

формирование беспористых структур с повышенными физико-механическими свойствами при пониженных температурах спекания. Так, уровень свойств элинваров, рис. 2, и экономно легированных сталей, изготовленных с использованием нанопорошков не хуже, чем у литых и не уступает по характеристикам аналогичным японским сталям.

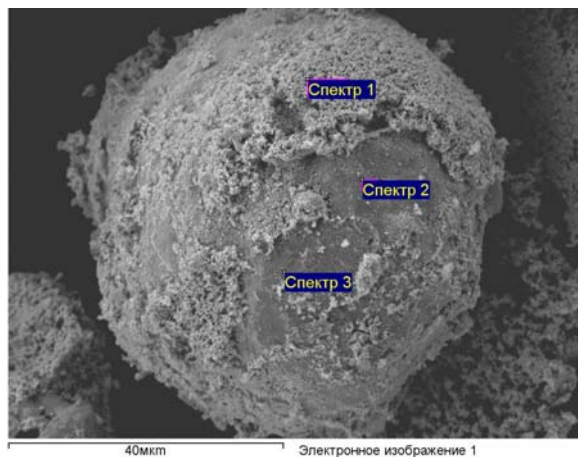


Рис. 1. Частица распыленного железа, покрытая наночастицами никеля

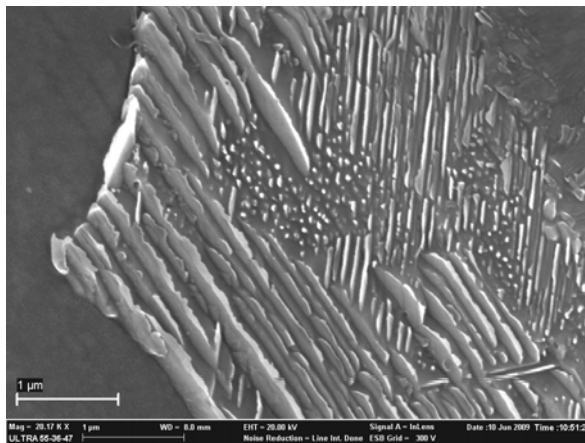


Рис. 2. Электронно-микроскопический снимок микро-структуры сплава «Элинвар»

– **тепловыделяющие материалы**, изготовленные из жаростойкого сплава с наноразмерным каталитическим покрытием. Тепловыделение обеспечивается при реализации механизма беспламенного горения метана, катализатор понижает содержание монооксида углерода и оксидов азота в газовых выбросах, наноструктурированная поверхность увеличивает площадь контакта газа с катализатором и повышает степень конверсии метана до 95-99 %, а сетчатоячеистая структура материала обеспечивает интенсивный массо- и теплообмен по всему объему катализатора. Материал используется в теплоэнергетических установках, таких как водогрейные котлы, рис. 3. Котел мощностью 500 кВт, предназначен для нагрева воды до температуры 1150 °С, обладает высоким КПД, низким содержанием  $\text{NO}_x$ , низким уровнем шума, компактностью.

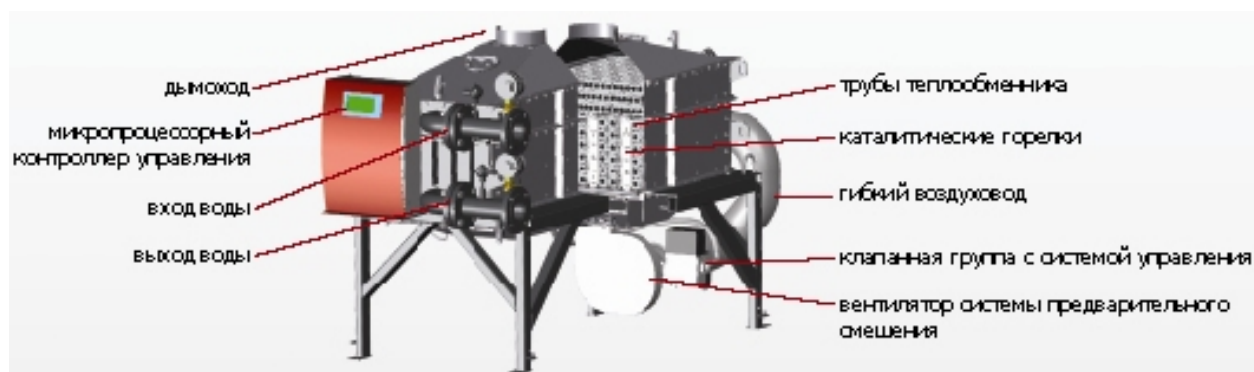


Рис. 3. Газовый водогрейный котел КТГ – 0,5

## 2) В области композиционных материалов:

– **алмазный инструмент** для резки и шлифовки неметаллических материалов, природного камня, строительных материалов, керамики.

Разработанный инструмент превосходит отечественные аналоги, не уступает по качеству импортному и может быть применен для резки и шлифовки горных пород различной твердости (от мраморов до гранитов) при значительно более низкой себестоимости.

Создание и использование термодинамически неравновесного состояния материала с наноразмерными структурными составляющими, фазовые превращения на стадиях изготовле-

ния и эксплуатации, синтез металлоуглеродных фаз при изготовлении. Предельно низкий расход алмазов при резке обеспечивается за счет самоупрочнения при работе инструмента, рис. 4.

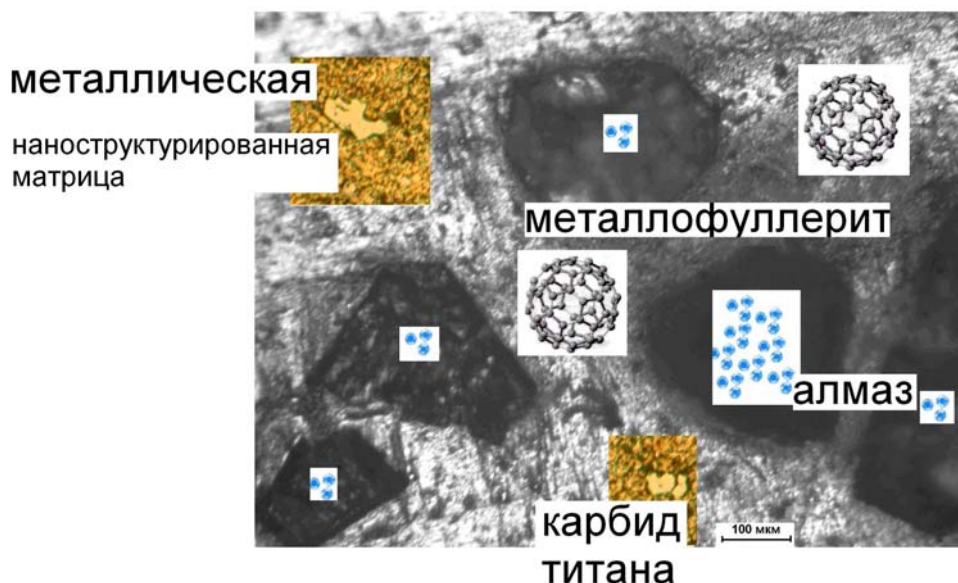


Рис. 4 - Структура алмазно-фуллеритового инструмента

### 3) В области покрытий:

– **наноструктурированные покрытия для горнодобывающей, нефтяной и оборонной промышленности** на основе нитридов, карбидов и карбонитридов элементов III – VI групп Периодической системы получены ионно-плазменными методами: магнетронным распылением, электродуговым испарением и комбинацией указанных методов, предназначены для упрочнения и улучшения износо-, коррозионно-, ударо-, жаро-, теплостойких свойств технологического инструмента и пар трения, рис. 5.



Рис. 5. Режущий инструмент с покрытиями



– **нанокристаллические алмазные пленки**, полученные химическим газофазным осаждением, иницированным микро-волновой плазмой при низком давлении и температуре из смеси газов водорода и метана. Пленки улучшают эксплуатационные характеристики твердосплавного режущего инструмента для обработки цветных сплавов, пластмасс, абразивных неметаллических и композиционных материалов.

#### 4) В области керамических материалов:

– **жаростойкие материалы на основе диоксида циркония с нано- и микропористостью** предназначены для использования в качестве носителей высокотемпературных катализаторов и низкотемпературных блочных катализаторов для газовых и жидкостных сред. Материалы получены методом термогелевого литья с применением вакуумирования через пористые подложки. В процессе изготовления материала из нанопорошка диоксида циркония образуются нанопоры, средний размер нанопор – 4–10 нм, средний размер микропор – 10–12 мкм, открытая пористость – 40–42 %, жаростойкость – до 1400–1500 °С, высокая термостойкость. В этих, не боящихся ни высоких температур, ни воды материалах микропоры обеспечивают транспорт реагентов, а нанопоры после нанесения каталитического слоя служат нанореакторами для частиц катализаторов. Введение оксидов иттрия, церия, титана позволяет изменять свойства поверхности.

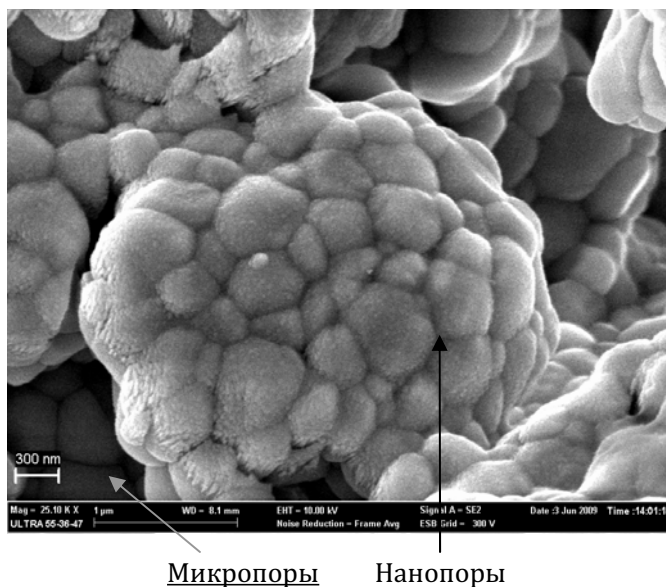


Рис. 6. Микроструктура излома пористой керамики с бимодальным распределением пор на основе стабилизированного иттрием диоксида циркония

– **керамические материалы на основе нанокристаллического  $ZrO_2$  функционального назначения** могут быть использованы как в машиностроении в качестве конструкционной керамики, так и в ортопедической стоматологии для изготовления цельнокерамических конструкций стоматологического назначения и различных имплантатов, в том числе для челюстно-лицевой хирургии.

Материал получают из нанопорошка, синтезированного золь-гель методом. Возможность изготовления керамических изделий сложной формы обеспечивается за счет предварительного низкотемпературного спекания заготовок, придающего им необходимую прочность для механической обработки.

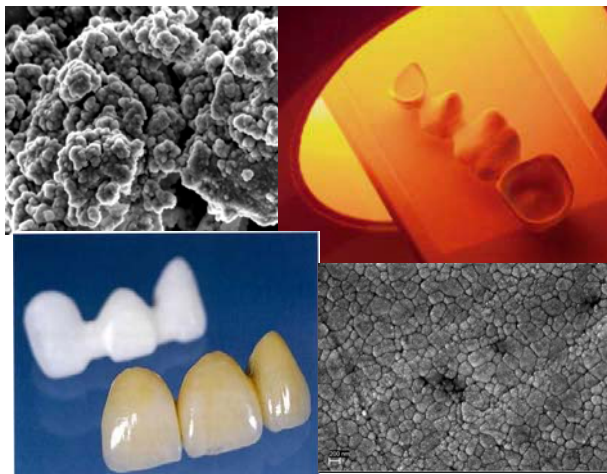


Рис. 7. Структура и изделия из керамических материалов на основе нанокристаллического  $ZrO_2$  функционального назначения

– материалы на основе карбосилицида титана, полученный метом механического легирования, обладает высокой прочностью, жаропрочностью, коррозионной и износостойкостью при повышенных температурах и низким коэффициентом трения. Преимуществами карбосилицида титана по отношению к другим видам керамики является легкость механической обработки и стойкость к термоудару. Применяется в качестве конструкционного жаропрочного материала, для замены механически обрабатываемой керамики, в качестве теплообменников.

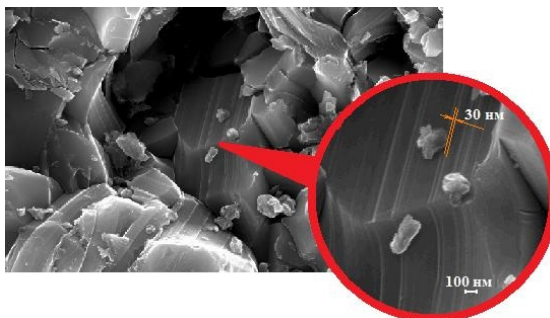


Рис. 8. Структура карбосилицида титана

Разработанные материалы внедрены на предприятиях Урала и других регионов страны, создается новое производство в г. Чехов.

Специалистов в области материаловедения, технологий порошковой металлургии и напыленных покрытий, наноматериалов готовит кафедра «Порошкового материаловедения».

Многоуровневая система образования включает подготовку специалистов с присвоением академических степеней и квалификаций: по **направлению 150100 МЕТАЛЛУРГИЯ с присвоением степени бакалавра техники и технологии и степени магистра техники и технологии** (магистерская программа 550512 «Порошковая металлургия, композиционные материалы, покрытия»); по **направлению подготовки дипломированного специалиста по специальности 150108 «Порошковая металлургия, композиционные материалы, покрытия», специализация 110812 «Менеджмент в технологии новых материалов»**. С 2008 г. при кафедре открыты новые профессиональные образовательные программы подготовки бакалавров по направлению 210600.62 «Нанотехнология» и специалистов по специальности 210602.65 «Наноматериалы». Накопленный опыт обучения студентов является залогом подготовки высококлассных специалистов и в области нанотехнологии и наноматериалов.

Преподавателям и студентам для выполнения исследовательских и лабораторных работ предоставлено современное исследовательское и учебно-лабораторное оборудование, располо-

женное на кафедре и в Научном центре. Центр располагает штатом высококвалифицированных специалистов, парком уникального исследовательского и технологического оборудования, от прессов до спектральных анализаторов и электронных микроскопов, позволяющим проводить полный цикл научных исследований и выпуск наукоемкой продукции из разработанных новых материалов. Кафедра порошкового материаловедения и НЦ ПМ образуют учебно-научный комплекс, объединенный территориально, где реализуются формы взаимодействия и интеграции кафедры в организации образовательного процесса. Ряд сотрудников центра привлекаются для чтения лекций по специальным дисциплинам учебного плана студентам кафедры, а студенты принимаются на работу в центр (в свободное от учебы время) на должности младших ИТР, рабочих и лаборантов с оплатой труда. У студентов есть возможности доступа к уникальному исследовательскому и технологическому оборудованию центра, выполнения научных исследований преподавателями и студентами совместно с сотрудниками центра, выполнения выпускных квалификационных работ студентов кафедры под руководством высококвалифицированных сотрудников центра и на оборудовании центра, доступа в библиотечный фонд центра, выполнения лабораторных работ на оборудовании центра.

Одной из приоритетных задач обучения на кафедре является приобретение студентами навыков выполнения научных исследований. Выпускные работы исследовательского характера студенты выполняют на базе НЦ ПМ на актуальные темы. Особенно эффективной формой выполнения выпускных квалификационных работ, реализуемой на кафедре порошкового материаловедения, является преемственность исследовательской темы – работы по назначенной индивидуально каждому студенту теме начинаются с выполнения курсовых работ по специальным и общетехническим дисциплинам, продолжаются при выполнении выпускной бакалаврской работы на 4 курсе и научно-исследовательской работы студентов (НИРС), и заканчиваются при выполнении дипломного проекта специалиста на 5 курсе или магистерской диссертации на 6 курсе. Все это время студент постигает основы научно-исследовательской деятельности и приобретает навыки работы на оборудовании в коллективе научных сотрудников и инженеров под руководством опытного специалиста и преподавателя кафедры. Научные результаты, полученные студентом, наравне с результатами штатных сотрудников центра, используются при выполнении федеральных целевых программ и договорных НИР для ведущих предприятий Пермского края и РФ, что воспитывает ответственное отношение студента к выполняемым работам.

Ежегодно не менее 15 лучших студентов кафедры награждаются медалями, дипломами и грамотами министерства образования РФ по итогам конкурсов дипломных работ, а также дипломами за доклады на конференциях. Студентам кафедры присуждались именные стипендии президента РФ, звания «Соросовский студент», в рамках Европейского сообщества «Коммет» и «Эразмус» по сотрудничеству в области обучения и научных исследований студенты, аспиранты и преподаватели кафедры прошли обучение и стажировки в техническом университете г. Вены. Среди выпускников кафедры есть руководители предприятий и краевой администрации, сотрудники зарубежных фирм порошковой металлургии.

Результаты накопленного практического опыта, педагогической и научной деятельности коллектива кафедры опубликованы в учебниках, 43 монографиях, 27 учебных пособиях. На кафедре разработано более 50 новых курсов, издано около 100 наименований методических пособий.

С 1970 года при кафедре открыта аспирантура, а в 1991 году - докторантура по научным специальностям 05.16.06 «Порошковая металлургия и композиционные материалы» и 05.02.01 «Материаловедение (промышленность)».

Таким образом, объединение в НЦ ПМ научно-исследовательской, производственной, обучающей функций является гарантом успехов в развитии порошковой металлургии не только в отдельном регионе, но и в мире. Созданные в разные годы коллективом НЦ ПМ участки и цеха порошковой металлургии действуют и сегодня, это цех ОАО «Нытва» (Пермский край, г. Нытва), участок ОАО «Камкабель» (г. Пермь), ОАО «Пермские моторы» (г. Пермь), ОАО «Инкар» (г. Пермь) и др. Кроме того, сотрудниками НЦ ПМ на основе разработанных в НЦ ПМ технологий создано новое современное перспективное, с большой перспективой развития научно-производственное предприятие ОАО «Новомет-Пермь» (г. Пермь).