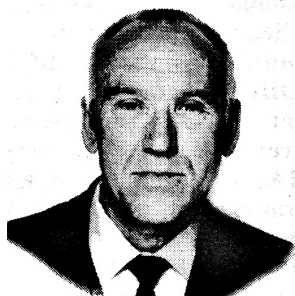


# РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНОГО ПОИСКА

## ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕТАЛЕЙ ОБЩЕМАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ



*Е.В. ЗВОНАРЕВ,  
к.т.н., ст.н.с.  
зав. отделением  
машиностроительных  
материалов*

НИИ порошковой металлургии, его отделение машиностроительных материалов, порошковой металлургии, решает круг вопросов, связанных с разработкой новых и совершенствованием существующих порошковых и композиционных материалов, эффективных технологий изготовления из них изделий и полуфабрикатов, а также освоение их выпуска.

В составе отделения 6 научно-исследовательских лабораторий: композиционные материалы (зам. зав. лабораторией д.т.н., в.н.с. Горохов В.М.) фрикционные материалы (зав. лабораторией Дмитриевич А.А.), керамические материалы (зав. лабораторией к.т.н., ст.н.с. Барай С.Г.), магнитные материалы (зав. лабораторией к.т.н., ст.н.с. Насыбулин А.Х.), сверхтвердые материалы (зав. лабораторией Баран А.А.), упрочняющие технологии (зав. лабораторией к.т.н., ст.н.с. Чигринова Н.М.). Общая численность работающих составляет 130 человек в том числе 14 кандидатов и 1 доктор технических наук. Многопрофильность отделения позволяет ему решать широкий круг вопросов, проводить фундаментальные исследования.

Так, в области порошковой металлургии конструкционных материалов на железной и медной основах новым технологическим приемом является обработка давлением предварительно спеченных заготовок в холодном состоянии и с нагревом. В отличие от традиционных технологий статического прессования металлических порошков при комнатных температурах и последующего спекания формовок, разрабатываемые технологии построены на пла-

стической деформации спеченного материала. В результате реализуется интенсивное уплотнение и упрочнение порошкового материала, а также формоизменение исходной заготовки. Потребовалось проведение широкого круга фундаментальных исследований в области механики деформируемого пористого тела, позволившие разработать механические схемы деформации, учитывающие влияние пор на деформируемость порошкового материала.

Установлено, что для закрытия пор разной геометрии одинаковой ориентации требуется приложение различных по величине внешних нагрузок. При этом наибольших усилий требует процесс залечивания круглой поры.

Это позволило разработать научно обоснованные рекомендации по проектированию рациональных процессов обработки давлением спеченных заготовок.

В рамках изучения физико-химической природы пластической деформации пористых тел проводятся исследования взаимодействия дислокаций с полями внутренних напряжений различной природы и интенсивности при деформировании спеченных заготовок.

Используя полученные результаты были разработаны процессы изотермического теплового деформирования (ИТД) и предварительной термомеханической обработки (ПТМО) спеченных заготовок, позволившие получать высокоплотные конструкционные детали из низколегированных порошковых сталей.

Поиск эффективных путей повышения плотности порошковых конструкционных деталей привел к разра-

ботке метода теплой допрессовки (ТД) предварительно сформованных в холодном состоянии порошковых заготовок, содержащих в качестве твердой смазки высокополимеры, переходящие при температурах 100-150°C в вязкое состояние. Это модифицированный вариант технологии теплового прессования металлических порошков, получившей в настоящее время большое распространение в странах Западной Европы и Америке. Прессование порошковых материалов в указанном температурном интервале характеризуется уменьшением трения между частицами, что приводит к повышению плотности прессовок за счет реализации эффекта проскальзывания частиц по границам между ними. В результате исследования определены оптимальные режимы тепло допрессовки, изделий из низколегированных порошков.

Получен ряд существенно важных научных результатов в области изучения физической природы трения, вносящих существенный вклад в развитие теории процессов трения компактных и порошковых материалов, на основе которых могут быть разработаны новые подходы при конструировании триботехнических материалов.

Ряд интересных в научном и прикладном плане данных получен в других направлениях фундаментальных исследований.

А вот некоторые результаты прикладных исследований при производстве порошковых конструкционных деталей, самых массовых и тоннажных в общем объеме выпуска порошковой продукции. В 1997 г. при общем объеме выпуска в мире железных и стальных порошков в количестве 670 тыс. тонн на производство конструкционных деталей было использовано свыше 600 тыс. тонн. При этом в автомобильной промышленности — 80% их общего количества. Основная цель, которая достигается при переводе конструкционных деталей на изготовление методом порошковой металлургии это снижение тру-

доемкости и себестоимости изготовления, повышение коэффициента использования металла, высвобождение станочного оборудования, а также повышение эксплуатационных характеристик изделий.

Выпускаемые за рубежом детали, как правило, сложной конфигурации: храповики, кулачки, средне-нагруженные зубчатые колеса, рычаги, шайбы фасонные, платики, втулки распорные и др. В последнее время освоен серийный выпуск колец синхронизаторов, коробок передач, шатунов автомобильных двигателей, седел клапанов, корпусов коренных подшипников и др. Развитие методов и оборудования для теплого прессования и инжекционного формования порошков позволило еще более расширить номенклатуру порошковых конструкционных деталей.

Выпускаемые на Молодечненском заводе порошковой металлургии (МолЗПМ) и на опытном производстве НИИ порошковой металлургии конструкционные детали несколько проще по своей конфигурации. Это связано с отсутствием современного прессового оборудования, оснащенного многоплиточными прессблоками, позволяющими формовать детали с большим числом переходов по высоте, высококачественных низколегированных железных и стальных порошков относительно невысокой цены.

В этой связи в наших работах разрабатываются технологии, включающие получение простых по форме порошковых заготовок, их спекание и последующую объемную штамповку в холодном состоянии или с нагревом в качестве формообразующей операции. Это позволяет получать изделия в некоторых случаях более сложной конфигурации, чем это достигается на современном прессовом оборудовании. Разрабатываемые процессы объемной штамповки порошковых заготовок не являются альтернативной для традиционных технологий изготовления конструкционных деталей. Они лишь дополняют их, расширяя возможности порошковой металлургии.

Следует отметить, что наибольшие успехи и применение холодная штамповка спеченных порошковых заготовок нашла в наших работах при разработке технологий изготовления деталей из цветных металлов и сплавов. Это связано с высокими усилиями деформирования

порошковых заготовок на основе железных или стальных порошков, а также недостаточной пластичностью их в холодном состоянии.

Наиболее убедительным примером преимущества штамповки спеченных заготовок из цветных металлов по сравнению со штамповкой деталей из металлопроката, а также традиционной технологией порошковой металлургии является разработанная специалистами отделения технология изготовления заготовок коллекторов электрических машин. Сущность технологии состоит в получении кольцевой спеченной медной заготовки простой формы с профилем ламелей на внутренней поверхности кольца и ее последующее пластическое деформирование по схеме обратного выдавливания. В результате формируется сложнопрофильная заготовка в виде трубы с фланцем, на внутренней поверхности которой образуются профильные выступы по числу ламелей в коллекторе. После опрессовки пластмассой и механической обработки для вскрытия ламелей образуется коллектор электрической машины.

По сравнению с технологией вырубки из медной полосы разработанная технология обеспечивает повышение коэффициента использования металла до 0,8-0,92, снижение материалоемкости в 1,2-1,4 раза (за счет изменения формы ламелей) и трудоемкости изготовления в 1,2-1,3 раза, экономии межламельной изоляции (слоденита), устраняет ручной труд на операции сборки заготовки коллектора; создает благоприятные условия для автоматизации процесса.

Технология защищена патентом республики Беларусь и получила приз в 1997 г. Европейской ассоциации порошковой металлургии (ЕРМА) в номинации «Новые технологии». По ней освоен выпуск заготовок стартерных и др. коллекторов на Молодечненском заводе порошковой металлургии, НИИ порошковой металлургии с опытным производством, АО «Борисовский завод автотракторного электрооборудования» (рис.1). Общий объем выпуска такой продукции в 1990 - 1992 гг. составлял до 2500 тыс. заготовок в год, в 1999 г. - около 1000 тыс. шт. В разработке технологий приняты участие специалисты АО «БАТЭ» и МолЗПМ.

Накопленный нами опыт использования технологии штамповки спеченных заготовок показал, что эти процессы наиболее эффективны при

## Поздравляем ветеранов

Анатолий Евгеньевич  
АНДРЕЕВ



Родился 14 сентября 1916 года на ст. Рогачев Белорусской железной дороги. Окончил в 1933 г. Оршанскую железнодорожную школу ФЗУ. Работал слесарем, помощником машиниста, машинистом.

В 1941 г. участвовал в перевозках войск и эвакуации, был машинистом бронепоезда. В 1941 г. вступил в партизанский отряд, формируемый К.С.Заслоновым, и начал боевые действия в составе диверсионной группы в тылу противника на Оршанском жел. дор. узле, а затем на территории Витебской, Минской и Гродненской областей. С апреля 1943 г. возглавлял партизанский отряд им. Комсомола Белоруссии на территории Белостокской области.

За боевые действия в тылу противника в 1943-1944 гг. награжден орденами: Ленина, Отечественной войны I степени, Красной Звезды; медалями: «Партизану Отечественной войны» I и II степеней; орденом Польской народной республики - «Крест Грюнвальда III класса».

В послевоенный период работал на различных ответственных должностях, выполняя важные задания правительства. С 1963 г. - министр автомобильного транспорта Белорусской ССР. За период работы в должности министра награжден двумя орденами Ленина, а в 1976 г. ему присвоено звание Героя Социалистического Труда. В 1996 г. награжден орденом «Отечества III степени».

Андреев А.Е. участвовал в создании республиканской организации ветеранов войны и труда. Избирался Председателем Совета, а в настоящее время является его Почетным Председателем. Ему присвоены звания Почетного гражданина г.Щучина, Мостовского района Гродненской обл. и города Орши. Является Почетным транспортником страны. Героический боевой и трудовой подвиг Андреева - пример честного служения Родине.

изготовлении мелкогазмерных тонкостенных деталей, получаемых механической обработкой из проката меди, латуни. Примером таких деталей являются радиочастотные соединители. При существующей технологии обработки резанием, коэффициент использования металла составляет не более 0,3. Традиционные методы: прессование, спекание,

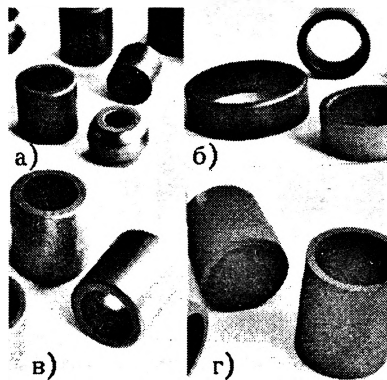


Рис. 1. Поковки коллекторов электрических машин, изготовленные холодным выдавливанием спеченных заготовок из медного порошка и коллекторы в сборе. Изготовители: НИИ ПМ с ОП, МолЗПМ, АО «Завод БАТЭ» (г. Борисов).

калибровка не обеспечивает в ряде случаев требуемой прочности, размерной точности и качества поверхности. Новый метод обеспечивает точность размеров и частоту поверхности; возможность полной автоматизации технологического процесса. Образцы таких деталей представлены на рис. 2.

При получении высокоплотных деталей на основе железных или стальных порошков преимущественно используются процессы допрессовки спеченных заготовок в режиме предварительной термовременной обработки, холодной изотермической тепловой, холодной либо горячей штамповки. Это обеспечивает существенно более высокие свойства порошкового материала.

Широкие потребности промышленности в деталях узлов трения привели к разработке целого класса антифрикционных материалов как компактных, так и порошковых (на основе меди или железа).

Основными требованиями, предъявляемыми к ним, являются: минимальный коэффициент трения, высокая износостойкость, необходимый комплекс механических свойств. Кроме того, каждый материал в конкретных условиях рабо-

ты должен быть устойчив против окисления при повышенных температурах, иметь высокое сопротивление коррозии при работе в агрессивных средах и т.д. Для деталей узлов трения в большинстве случаев используют порошковые материалы на медной основе, в частности, оловянистую бронзу. Однако бронза обладает недостаточно высокой несущей способностью и является дефицитной и дорогостоящей из-за наличия в ней олова. Введение оптимального количества олова в медь повышает стоимость материала более, чем в 2 раза. Как известно, антифрикционные материалы конструируются с учетом принципа Шарпи: твердые включения в относительно мягкой матрице. Такому требованию отвечают литые бронзы, чугуны, металлополимеры и др. материалы. Порошковая металлургия в этом плане открывает огромные возможности. Пористое железо, пропитанное маслом имеет коэффициент трения при работе со стальным валом ниже, чем пара трения сталь по стали со смазкой. Как правило, большинство порошковых антифрикционных материалов представляют собой псевдосплавы железо-графит, бронза-графит, железо-графит-медь-сера, железо-медь-свинец-графит и др.

Исследования показали, что для работы в условиях трения наиболее перспективными являются порошковые композиции железо-графит-медь с добавками дисульфида молибдена и других твердых смазок. Применение пористых материалов для изготовления деталей узлов трения позволяет резко повысить срок их службы за счет способности длительное время сохранять в порах смазку, что придает таким де-

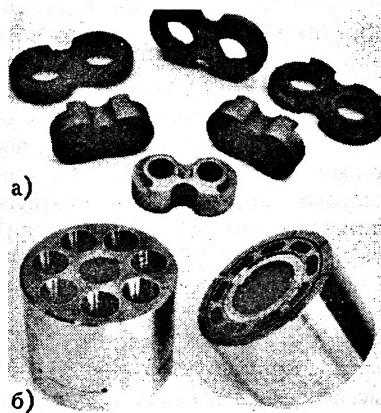


Рис. 2. Детали радиочастотных соединителей, изготовленные методом порошковой металлургии с применением холодной штамповки спеченных медных заготовок на автоматизированной линии.

талям свойство самосмазывания. Предварительная пропитка пористых деталей жидкими маслами с последующей установкой в узлы трения, требующих периодической смазки, позволяет сократить затраты на техническое обслуживание, а в ряде случаев, ликвидировать их полностью с гарантией наличия жидких смазок в зоне трения всего срока службы конструкции.

Основным направлением наших работ в этом плане является повышение антифрикционных свойств порошковых бронз за счет введения в них твердых смазок и повышения их плотности, а также замена в узлах трения литых бронз на порошковые материалы на основе железа. В первом случае добиваются повышения несущей способности порошковых бронз, во втором — экономии дефицитных материалов при достижении несущей способности литой (катаной) бронзы. Так в радиально-торцевых подшипниках скольжения шестеренных масляных насосов типа НШ18-НШ-50. Подшипники из литой бронзы ОЦС5-5-5 заменены на высокоплотную порошковую бронзу того же химсостава, в которую введена твердая смазка в виде графита и дисульфида молибдена. Это позволило повысить ресурс работы насоса до 10-12 тыс. час., рабочее давление масла до 30 МПа и скорость вращения до 50 сек.<sup>-1</sup>. Разработанная технология позволила повысить коэффициент использования материала до 0,44, снизить трудоемкость в 2 раза, высвободить станочное оборудование, снизить численность работающих и сократить расходы на инструмент. В 1990-1991 г.г. на МолЗПМ выпускалось до 2000 тыс. шт. таких изделий.

Совместно с НИИ импульсных процессов и ООО «Хорда» разработана оригинальная технология изготовления биметаллических корпусов роторов аксиально-поршневых гидронасосов. В этих изделиях рабочие поверхности стального корпуса армируются модифицированным порошковым антифрикционным материалом бронза-графит, что обеспечивает существенную экономию цветного металла, повышение несущей способности пары трения и, как следствие ресурса работы насоса до 9 тыс. час. Выпуск полуфабрикатов таких изделий освоен в НИИ порошковой металлургии.

Для замены бронзовых подшип-

ников скольжения в стартерах автомобилей разработан антифрикционный материал на основе железа повышенной несущей способности. Такой материал имеет пористость 15-25%, маслостойкость не менее 1,6%, коэффициент трения при ограниченной смазке 0,01-0,04. Разработанный материал применяется также для изготовления длинномерных втулок, которыми армируются отверстия в аксиально-поршневых насосах взамен порошковой бронзы. Разработаны также антифрикционные материалы на железной основе для изготовления втулок для тормозной рычажной передачи вагонов железнодорожного подвижного состава. Выпуск такой продукции освоен на опытном производстве НИИ порошковой металлургии и поставляется АО «Завод БАТЭ», а также вагоноремонтным заводом Минска и Гомеля.

Одним из эффективных методов повышения физико-механических свойств порошковых материалов на основе железа является **инfiltrация пористого железного (стального) каркаса** расплавами металлов, например, медью или ее сплавами. За счет этого устраняется пористость порошкового материала, повышаются его прочностные и теплофизические свойства. Макроструктура такого композита представляет собой систему двух взаимопроникающих каркасов: один железный или стальной, второй - медный или бронзовый. Варьируя свойствами каркаса (пористостью, химическим составом материала, размером и формой пор), а также свойствами инфильтранта можно получать широкий спектр порошковых материалов со специфическими функциональными свойствами, не достижимыми традиционными методами большой металлургии, в том числе триботехническими, износостойкостью при нормальных и повышенных температурах, демпфирующей способностью.

Проведен широкий комплекс научно-исследовательских работ по изучению условий формирования таких материалов, их свойствам и областям применения.

Наибольшее применение в наших работах такие материалы нашли при изготовлении антифрикционных материалов для тяжело нагруженных условий работы, а также износостойких элементов формообразующей оснастки для изготовления стеклотары. Из этих

материалов изготавливаются также втулки шкворня передней подвески автомобилей семейства МАЗ взамен биметаллических сталь-бронзовых, прокат для которых импортируется из стран СНГ. Порошковые втулки изготавливаются из композиционных инфильтрированных бронзой высокоуглеродистых сталей и характеризуются пределом прочности на разрыв 450-650 МПа, коэффициентом трения 0,006-0,01; твердостью 1800-3000 МПа, пористостью - не более 3%. Износ втулок при 200 тыс. км пробега составляет не более 0,25 мм (при допустимом 0,5 мм). Материал и технология защищены патентами РФ. Выпуск таких втулок освоен на опытном производстве НИИ ПМ по заказу Барановичского автотракторного завода и др. предприятий. Горловые кольца стеклоформующей оснастки, изготовленные из таких материалов имеют ресурс работы в 3-5 раз более высокий, чем из легированных чугунов.

Фрикционные изделия являются классическим продуктом порошковой металлургии, так как материалы, из которых они изготавливаются, во многих случаях не имеют альтернативных способов получения. Как правило, это композиты, в состав которых входят металлические (железо, медь, олово и др.) и неметаллические (графит, асбест, оксидные, карбидные, интерметаллидные соединения) порошки, подвергаемые смешиванию, компактированию различными методами и припеканию к стальной подложке (основе). Область применения фрикционных изделий чрезвычайно широка. Их используют в узлах передачи крутящего момента либо торможения автотракторосельхозтехники, дорожностроительных машин, машинах оборонной техники и др.

Нами проводятся работы по совершенствованию существующих и разработке новых порошковых фрикционных материалов с целью повышения их работоспособности, обеспечения высокого и стабильного коэффициента трения в различных условиях работы. Особое влияние при этом уделяется снижению себестоимости и получению экологически чистых фрикционных материалов. Так, все разработанные порошковые фрикционные материалы на основе меди или железа не содержат асбеста, а в их составе широко используются побочные продукты или отходы различных видов производства (например, отходы машиностроения и др.).

Для работы в условиях трения в

## Поздравляем ветеранов

Дмитрий Иванович  
БАРАШКИН



Родился 1 сентября 1922 г. в деревне Шевели Лиозненского района Витебской области. В 1940 году после окончания 7 классов

работал на стройках городов Витебска и Могилева.

С начала Великой Отечественной войны проживал по месту рождения, в деревне Шевели Лиозненского района. В сентябре 1942 года вступил в партизанскую бригаду «Алексея» (Алексея Федоровича Данукалова).

После освобождения Беларуси от немецко-фашистских захватчиков попал на трудовой фронт: в августе 1944 года с группой бывших партизан направлен в г. Минск на строительство Минского автомобильного завода, возводил производственные корпуса будущего гиганта белорусской индустрии.

Дмитрий Иванович впоследствии более полувека - 51 год - проработал на Минском автомобильном заводе, сначала на стройке, затем помощником сталевара сталелитейного цеха, а с 1947 по 1972 годы - сталеваром. Здесь он показывал образцы ударного труда, добивался выдающихся производственных результатов, заслуженно стал передовиком машиностроительного производства. Ему присвоено высокое звание Героя Социалистического труда.

В 1955 году был избран депутатом Верховного Совета БССР 4 созыва, а в 1967 году - 6-го.

Почетный гражданин Минска (1968 г.). Награжден орденами Ленина и Красной Звезды.

масле нами разработаны материалы на медной и железной основах, которые обладают соответственно динамическим коэффициентом трения 0,05-0,07 и 0,10-0,12 при интенсивности изнашивания 2-5 и 2-6 мкм/км. Фрикционные диски с медью используются в гидротрансмиссиях погрузчиков и другой дорожной технике.

Материалы на железной основе успешно эксплуатируются при удельной нагрузке 4МПа, скорости скольжения – 30 м/сек и температуре на поверхности трения до 800°C. Они по износостойкости не уступают, а по коэффициенту трения в масле превосходит наиболее широко применяемые в настоящее время порошковые материалы на основе оловянистой бронзы, причем по стоимости в 6-7 раз дешевле. Особый интерес представляет материал «ШАДЕФ» для работы в условиях трения без смазки, имеющий динамический коэффициент трения 0,07-0,08 и интенсивность изнашивания 2-5 мкм/км. Он недорог, так как в качестве его основной составляющей использован порошок легированной стали ШХ-15, полученный путем переработки шламовых отходов подшипникового производства. Фрикционные диски из этого материала применяются в предохранительных муфтах тракторов, тормозах лебедки автокрана, гидротрансмиссиях большегрузных автомобилей.

Для изготовления фрикционных дисков разработана и широко применяется технология свободной насыпки, которая позволяет получать изделия требуемых геометрических размеров с масляными канавками без дополнительной механической обработки, снизить себестоимость технологической оснастки, а исключение операции пресования значительно расширяет возможности изготовления дисков диаметром до 550-600 мм с толщиной фрикционного слоя 0,4-0,6 мм.

По разработанной технологии на опытном производстве организован выпуск опытных и опытно-промышленных партий изделий для ПО «МТЗ» и ряда других предприятий, в том числе стран СНГ. Выпуск фрикционных изделий из материала «ШАДЕФ» осуществляется на МолЗПМ.

Начиная с 1995 г. после открытия в республике государственной научно-технической программы «Алмазы» нами разрабатываются алмазосодержащие композиционные материалы (КАМ). Целью этой программы является организация в республике производства

сверхтвердых материалов и изделий из них взамен импортируемых из стран СНГ. В настоящее время нами разработана группа КАМ и технология изготовления из них алмазных кольцевых сверл большого диаметра (до 180 мм) для сверления отверстий в железобетонных строительных конструкциях, керамзитобетонных и кирпичных панелях; алмазные бруски типа АПС и фрезы диаметром 95 мм для шлифования плит из строительных материалов и природного камня; отрезных дисковых пил сегментной формы и со сплошной кромкой для резки природного камня (гранита, мрамора и др.), строительных материалов (бетона, железобетонных, мозаичных плит и др.), а также дорожных покрытий; алмазноабразивных кругов для обработки технического стекла, зеркал, природного камня, ферритов, керамики и др. материалов (рис. 3).

Разработанный КАМ имеет гру-

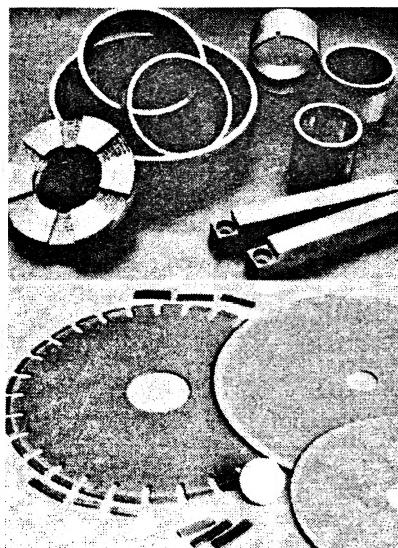


Рис. 3. Алмазный инструмент (кольцевые сверла большого диаметра, бруски, фрезы, отрезные круги с сегментной и сплошной режущей кромкой, для обработки природного камня, строительных материалов в т.ч. железобетона, изготавливаемые НИИ ПМ с ОП.

богетерогенную структуру, в которой частицы алмаза закатаны в твердосплавную оболочку толщиной, соизмеримой с размером частицы, и позволяет повысить режущую способность алмазного инструмента композита при обработке железобетона, когда алмазное зерно может разрушаться при встрече со стальной арматурой. Так, кольцевое сверло диаметром 100 мм, изготовленное из такого материала, имеет длину проходки до полного износа по железобетону 15-20 м.

Благодаря эффективной техноло-

гии алмазный инструмент из такого КАМ имеет повышенный ресурс работы и низкую стоимость. По сравнению с зарубежными аналогами, например, фирмы «Cedima», стоимость таких сверл ниже в 2-3 раза. Повышение стойкости шлифовального инструмента (брусков, фрез) по сравнению с аналогами стран СНГ составляет 1,2-1,4 раза.

Разработана также широкоуниверсальная алмазнометаллическая композиция системы «медь-олово-никель-карбид вольфрама» для резки строительных материалов и горных пород, отделочных, строительномонтажных, дорожно-строительных работ, резки асфальта, асфальтобетона, тротуарной и облицовочной плитки. Идеей разработки явилось создание на базе известной композиции «медь-олово-никель», используемой в инструменте для резания достаточно мягких малоабразивных материалов (стекло, мрамор, известняк и т.д.), нового материала, в котором повышение износостойкости достигается за счет увеличения содержания никеля и олова, а также введением в состав дополнительного абразива в виде частиц литого карбида вольфрама.

Применение плакирования алмазных порошков вносит значительный вклад в повышение стойкости инструмента за счет высокой адгезии материала связки к алмазу. Композиция характеризуется хорошей уплотняемостью при спекании под давлением (пористость 0,5-2%), возможностью применения природных и синтетических алмазов, обеспечивая эксплуатационную стойкость и производительность на уровне лучших зарубежных композиций при существенно меньших ценах на инструмент. Такие композиты находят применение также для изготовления стеклообрабатывающего фасонного инструмента: кругов углового и радиусного профиля, отрезных сегментных кругов, со сплошной кромкой, сегментов и штрипсов).

Выпуск такого инструмента освоен в НИИ порошковой металлургии.

Широкое применение в промышленности нашла инструментальная и конструкционная оксидная керамика. Одной из наиболее характерных областей ее применения является высокотемпературная техника. Сохранение высоких прочностных характеристик при высоких температурах, а также высокая термическая стойкость ряда керамических материалов позволяют использовать их в огнеупорной промышленности, при изготовлении инструмента, на-

гревателей, огнеупорных насадок сварочных горелок, распылительных форсунок плазмотронов и т.д.

Применение керамики для различных целей вызывает необходимость различных подходов при разработке технологии. Так, от конструкционной и инструментальной керамики требуется высокая плотность, прочность межфазных и межзеренных границ, равномерность распределения структурных составляющих, высокая твердость и сопротивление распространению трещин.

Разработаны оксидные керамические материалы и технология изготовления из них инструмента для станков калибровки проволоки черных и цветных металлов. В процессе исследований получены высокопрочные, вязкие композиционные материалы на основе оксида алюминия, армированного дисперсными частицами стабилизированного с помощью оксида магния оксида циркония, работающих в условиях высоких истирающих нагрузок. Технология изготовления калибровочного инструмента, включающая диспергирование синтезированных порошков, формование заготовок в условиях одноосного сжатия и спекания внедрена в промышленности.

Для оснащения станков по изготовлению искусственных нитей и изделий из них разработаны материалы на основе оксида алюминия, легированного оксидами титана и марганца, с пониженной температурой спекания и с требуемым уровнем эксплуатационных характеристик. В связи со сложной формой изделий технология включает горячее литье пластифицированных порошков для получения нужной формы. Разработаны материалы на основе корунда для изготовления сопел пескоструйных аппаратов, отличающиеся высокой абразивной стойкостью.

Для работы в условиях высоких температур проводятся исследования по синтезу композиционных материалов различного фракционного состава. Разработаны технологические процессы получения насадок газовых горелок, сопел для плазменной металлизации с применением методов изостатического формования изделий. Разработанные керамические материалы, легированные оксидами циркония, иттрия, магния и др., отличающиеся мелкозернистой структурой, высокими физико-механическими свойствами, и успешно применяются в волоочильном инструменте, текстильной промышленности, технике высоких температур и т.д.

Проводятся работы по получе-

нию наноструктурной керамики. Ожидается, что такая керамика за счет достижения высокой степени однородности и обеспечения большого количества межчастичных контактов позволит создать новый класс тугоплавких и износостойких материалов с уровнем физико-химических и функциональных свойств, превышающих традиционные материалы в 1,5-2,0 раза, а также магнитных и изолирующих материалов для электротехники и электроники с электрофизическими параметрами, превышающими традиционно используемые материалы в 1,3-1,8 раза. Это позволит расширить номенклатуру керамических изделий в инструментальном производстве точном приборостроении, электронике и электротехнике.

В настоящее время нами проводятся работы в области создания нового класса керамических материалов со структурой, так называемых, псевдо- или фотонных кристаллов на основе кластерных, моно- и наноразмерных, сферических частиц оксидов. Разработаны процессы синтеза монодисперсных порошков оксида кремния с требуемыми характеристиками, методы формования из них образцов в поле действия центробежных сил, процессы их термической обработки. Полученные образцы имеют правильную псевдокристаллическую структуру, а их оптические свойства проявляют спектрально-селективный характер. Материалы, обладающие оптическими свойствами фотонных кристаллов могут быть использованы в различного рода оптических приборах в качестве спектрально-селективных элементов, покрытий, подавляющих нежелательные области спектра в осветительных приборах и электронно-лучевых трубках, в линиях оптико-волоконной связи и т.п.

Широкое применение в акустических системах, динамиках, герконах, в электродвигателях, в том числе стартерных, а также магнитных защелках, бытовой технике, медицине имеют постоянные магниты ферритного класса. Мировое производство их составляет свыше 100 тыс. тонн в год и в десятки раз превышает выпуск постоянных магнитов других классов.

Нами выпускаются изотропные и анизотропные ферриты бария и стронция в виде пластин, колец и сегментов. Изотропные ферриты в виде колец могут намагничиваться в радиальном и аксиальном направлениях. Анизотропные ферриты в виде колец имеют максимальную намагниченность в аксиальном направлении. При необходимости радиальной намагниченности кольца заменяются на сегменты.

Для повышения магнитных ха-

## Поздравляем ветеранов

Александр Степанович  
БОГДАН



Родился в 1923 г. в д. Рачковичи Слуцкого района Минской области. В мае 1941 г. по направлению Краснослободского райво-

енкомата и рекомендации райкома комсомола А.С.Богдан был зачислен в Минское Краснознаменное танковое училище им. М.И.Калинина, которое в начале Великой Отечественной войны эвакуировано в г. Ульяновск.

В июне 1942 г. лейтенант Богдан прибыл в 17-й танковый корпус, который занимал оборону в г. Воронеже. В октябре 1942 г. получил тяжелое ранение. По выздоровлении служил командиром взвода Чкаловского танкового училища самоходной артиллерии, где и встретил праздник Победы.

После войны поступил в Белорусский политехнический институт, который успешно окончил в 1950 г. Работал в тресте № 2 Главпромстроя. С июня 1953 г. по июнь 1969 г. — на партийной работе: инструктор Минского обкома КПБ, второй секретарь Фрунзенского райкома КПБ, первый секретарь Молодечненского горкома КПБ.

С 1969 по 1976 гг. работал заместителем Председателя Комитета Народного Контроля БССР. В феврале 1976 г. назначен Председателем государственного Комитета БССР по надзору за безопасным ведением работ в промышленности и горному надзору.

За заслуги перед Родиной награжден орденами Отечественной войны I и II степени, орденом Трудового Красного Знамени, орденом Знак Почета, 10-ю медалями.

После выхода на пенсию участвует в работе Республиканской ветеранской, Минской городской и Советской районной ветеранской организаций.

рактических феррита стронция используются легирующие добавки. Введение их обеспечивает повышение остаточной магнитной индукции, коэрцитивной силы по индукции, максимального энергетического произведения.

В НИИ порошковой металлургии организовано опытно-промышленное производство ферритостронцевых сегментных магнитов для стартеров автомобильных двигателей, которые поставляются АО «Завод БАТЭ».

Разработанные магниты соответствуют некоторым маркам магнитов ведущих фирм (например, марке TAS40-34 фирмы «Tongkook», Корея).

Уникальным сочетанием электромагнитных свойств обладают **магнитомягкие ферриты**. Они нашли широкое применение в электро- и радиотехнике, автоматике, телемеханике и др. отраслях промышленности.

Основные потребители магнитомягких ферритов в Республике являются: ПО «Горизонт», ПО «Витязь», ПО «Интеграл», БелВАР, МПОВТ, ПО «Радиоволна», БПО «Экран», БЭМЗ, заводы «Промсвязь», «Калибр», «Термопласт», НИИСА, Гомельский, Брестский, Могилевский, Молодечненский, Оршанский радиозаводы и др.

Основная научная идея проводимых работ состоит в создании магнитомягких ферритов с требуемым комплексом электромагнитных параметров под определенный класс радиотехнических изделий узкого назначения. Проведены исследования по повышению свойств низкочастотных магнитомягких ферритов с округлой петлей гистерезиса на базе ферритного порошка марки 600 НН, легированного соединениями кобальта и лития. Установлено, что при введении СоС увеличивается рабочий диапазон частот, уменьшается тангенс угла магнитных потерь и зависимость начальной магнитной проницаемости от температуры окружающей среды, повышается электрическое сопротивление. Так, добавка СоС позволяет уменьшить начальную магнитную проницаемость феррита марки 600 НН до 400 Гс/Э и одновременно повысить добротность измерительной катушки до 160. Установлено, что легирование исходного ферритового порошка соединениями лития позволило получить на промышленном порошке начальную магнитную проницаемость, относительный тангенс угла магнитных потерь при амплитудных значениях напряжен-

ности магнитного поля на частоте 100 Гц.

Проведены комплексные исследования по разработке технологий получения из низкочастотных магнитомягких материалов различной конфигурации: кольцевых, стержневых, трубчатых, пластинчатых и гантельных сердечников. Ферриты изготавливали методами статического прессования полусухих масс, экструзии пластифицированных масс и литья под давлением термопластических масс.

Разработанные ферритовые материалы в соответствии со спецификацией IEC и стандартами ISO аналогичны материалам марок 10G и 16G, выпускаемыми ведущими западными фирмами «Siemens» (Германия) и «Phillips» (Франция). Сердечники на их основе предназначены для работы в узлах радиоэлектронной техники в слабых синусоидальных полях в диапазоне частот до 2,0 МГц. В частности это магнитопроводы, катушки постоянной и переменной индуктивности, импульсные и широкополосные трансформаторы различного назначения, магнитные усилители, преобразователи переменного и постоянного напряжения, магнитные антенны радиоприемной и передающей аппаратуры для всех диапазонов радиоволн (от сверхдлинных до УКВ, дроссели, линии задержки радиотехнических устройств, катушки индуктивности, подстроечники изменения индуктивности и добротности контуров, электромагнитные концентраторы для высокочастотной сварки труб.

В условиях современного производства все большее значение приобретают технологии, позволяющие на базе традиционных недефицитных и относительно дешевых материалов создавать покрытия, обладающие улучшенным комплексом физико-механических и служебных свойств. Нами в последние годы интенсивно развиваются работы по **микроплазмохимической обработке поверхностей деталей машин и механизмов**. Новизна разработки состоит в целенаправленном преобразовании микроструктуры поверхности изделий и формирование на ней композиционных металлических, твердосплавных и керамических покрытий.

Используются две базовые технологии: электроискрового легирования с ультразвуковым модифицированием электропроводящих материалов (ЭИЛ+УЗМ); и анодного микродугового окисления в сочетании с электроискровым осаждением различных химических элементов (АМДО). Они обеспечивают

- создание на поверхности

стальных изделий эрозионно-, коррозионно-, износо- и теплоустойчивых покрытий;

- восстановление изношенных деталей, работающих в жестких пределах допусков (например, плунжера топливного насосов).

Характеристика: толщина покрытий: ЭИЛ+УЗМ - от 1 до 2 мкм; АМДО - от 1 до 100 мкм;

твердость обработанной поверхности после обработки - твердосплавные покрытия 70-74 HRC; керамические покрытия 72-76 HRC; шероховатость обработанной поверхности - в пределах от 0,5 до 3,5 мкм; пористость покрытий - 0,5-2%.

Изучение механизма направленного воздействия микроплазмохимической обработки на процессы структурообразования материала основы показало, что определяющее воздействие на образование покрытия с требуемым уровнем рабочих характеристик оказывает схема обработки ЭИЛ+УЗМ, а при АМДО - химический состав электролита.

Износостойкие твердосплавные покрытия повышают ресурс работы металлорежущего, штампового, деревообрабатывающего инструмента (рис.14) в среднем в 2-5 раз. Создание теплоизоляционных, диэлектрических керамических покрытий на поршнях топливных насосов улучшает эксплуатационные характеристики и повышает срок службы в несколько раз. Применение поршней с керамическим покрытием, сформированным методом АМДО, приводит к возрастанию ресурса двигателя с 8000 до 12000 час.

В перспективе планируется существенно развить работы по разработке технологий получения высокоплотных конструкционных деталей на железной основе повышенной сложности с применением метода теплой деформации предварительно спрессованных пластифицированных заготовок; антифрикционных и фрикционных изделий с повышенной несущей способностью для работы в тяжелых условиях температурно-силового воздействия; высокоэнергетических постоянных магнитов на основе модифицированных составов феррита стронция, магнитомягких ферритов с повышенными функциональными свойствами; различного алмазного инструмента повышенной работоспособности для обработки твердых сплавов, природного камня, строительных материалов, абразивных кругов и т.п., а также керамических материалов наноструктурного уровня.