

УДК 620.1+621.7

**А. И. Гордиенко**

Государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», Минск

## ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ

Приведены результаты работ последних лет, выполненных в Государственном научном учреждении «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (далее — ФТИ НАН Беларуси). Рассмотрены примеры научных результатов по основным направлениям исследований (материаловедению, обработке металлов давлением, модификации поверхности материалов при высокоэнергетическом воздействии), ставших основой для создания практически значимых инноваций. Особое внимание уделено разработкам, внедрённым в реальном секторе экономики, а также сотрудничеству с учреждением образования «Барановичский государственный университет».

**Ключевые слова:** материаловедение, индукционное оборудование, электротермическое упрочнение, магнитно-импульсная штамповка, ионно-плазменное азотирование, высокоэнергетическое воздействие.

**Введение.** Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси основан постановлением Совета народных комиссаров БССР «О реорганизации Белорусской академии наук», утверждённым 13 мая 1931 года, и постановлением Президиума Академии наук БССР 29 марта 1931 года № 9.

Первым директором института (1931—1938) был академик Академии наук БССР Ц. Л. Бурстин — известный советский математик. В институте работали академики Н. С. Акулов, Г. А. Анисович, К. В. Горев (директор института в 1947—1948 годах), С. И. Губкин (директор института в 1948—1955 годах), А. И. Кайгородов, В. В. Клубович, Е. Г. Коновалов, В. П. Северденко (директор института в 1956—1970 годах), А. Н. Севченко, Н. Н. Сирота, А. В. Степаненко, Б. И. Степанов, В. Н. Чачин (директор института в 1970—1983 годах), П. И. Ящерицын, члены-корреспонденты М. Н. Бодяко, А. И. Вейник, Л. И. Гурский, Н. В. Румак, Э. И. Точицкий. Сегодня в ФТИ НАН Беларуси работают академики С. А. Астапчик (директор института в 1983—2002 годах), А. И. Гордиенко (директор института с 2002 года), В. В. Клубович, члены-корреспонденты Национальной академии наук А. В. Белый и А. П. Ласковнёв.

В институте сформировались широко известные научные школы, сложились и активно работают творческие коллективы учёных, известных специалистов в области материаловедения, исследования процессов пластического формообразования и литья, разработки теоретических основ технологических процессов обработки материалов с использованием лазерного, плазменного, электронно- и ионно-лучевого, электроэрозионного, импульсного и других видов высокоэнергетического воздействия.

**Основная часть.** Научная и научно-техническая деятельность ФТИ НАН Беларуси нацелена на содействие реализуемой в настоящее время инновационной модели создания конкурентоспособной, высокотехнологичной, ресурсо- и энергосберегающей, экологически безопасной экономики Республики Беларусь. Важнейшими элементами, обеспечивающими деятельность института, является участие в государственных программах разных уровней (государственных программах научных исследований, научно-технических программах), выполнение инновационных проектов, а также проведение работ в рамках хозяйственных договоров и контрактов. Такая многовекторная деятельность позволила как сохранить и развить традиционные для ФТИ НАН Беларуси научные направления, так и успешно реализовывать новые перспективные проекты.

В настоящее время в рамках Программы технического переоснащения и модернизации литейных, термических, гальванических и других энергоёмких производств на 2010—2015 годы, утверждённой Советом Министров Республики Беларусь, ФТИ НАН Беларуси является головной организацией по научно-техническому сопровождению программы переоснащения промышленных предприятий, использующих индукционное оборудование. Создано современное сертифицированное серийное производство полупроводниковых генераторов на транзисторной основе и индукционных установок для скоростной

электротермической обработки и нагрева под пластическую деформацию. Значимость работы подтверждает тот факт, что из используемых в Республике Беларусь более 1 000 индукционных установок  $\frac{2}{3}$  имеют практически 100%-й износ. Поэтому в настоящее время перед промышленными предприятиями остро стоит задача модернизации и замены имеющегося индукционного оборудования, выработавшего свой ресурс, на оборудование нового поколения — на транзисторных или тиристорных модулях. Установка только одного высокочастотного отечественного генератора мощностью 250 кВт обеспечивает импортозамещение в размере 50 тыс. дол. США. Осуществлена поставка разработанного и изготовленного в ФТИ НАН Беларуси оборудования на ОАО «МАЗ», ОАО «МЗОР», ОАО «Гидромаш», ОАО «Бобруйскагромаш».

Широкую известность получила и другая разработка в области электротермии. На основе процессов поверхностного электротермического упрочнения разработаны титановые защитные элементы с градиентным распределением свойств по сечению, использующиеся в созданном на базе ФТИ НАН Беларуси производстве средств индивидуальной бронезащиты (бронезилетов, щитов и др.), поставки которых осуществляются как на внутренний рынок, так и за рубеж.

В учреждении сформировано направление по созданию технологий и оборудования штамповки тонколистовых материалов с использованием ударных нагрузок (рисунок 1), которое по многим позициям занимает одно из ведущих мест в мире. Для реализации технологий разработано специализированное оборудование магнитно-импульсной штамповки, использование которого обеспечивает снижение энергопотребления до 3 раз, затрат на штамповую оснастку — до 10 раз, сроков подготовки производства — до 5 раз. Конструкции прессов, их отдельные узлы и технологические схемы штамповки защищены более чем 100 авторскими свидетельствами и патентами Беларуси и других стран. Высокая скорость приложения нагрузки (до 100 м/с), кратковременность действия давления (100...300 мкс), отсутствие пуансона, роль которого выполняет жидкость, эластичная среда или магнитное поле, определяют существенные отличия и основные преимущества процесса — возможность получения детали сложной формы за один переход; штамповки в одной матрице деталей различной толщины; управления импульсом давления в широких пределах как по амплитуде, так и по времени его действия. Аналоги работают при высоких давлениях (свыше 15...20 МПа) и рабочих напряжениях от 10 до 50 кВ. Предлагаемые процессы функционируют при рабочем давлении воздуха до 0,63 МПа и электрическом напряжении до 10 кВ. Коэффициент полезного действия процесса достигает 40%. На крупных предприятиях Министерства промышленности Республики Беларусь (ОАО «МЗКТ», ОАО «МАЗ», ОАО «БелАЗ», ОАО «МАРЗ») созданы участки, оснащённые произведённым в институте оборудованием магнитно-импульсной штамповки, осуществляются экспортные поставки прессов.



а)

б)

в)

г)

Рисунок 1 — Прессы импульсной листовой штамповки (а), магнитно-импульсной штамповки (б), образцы деталей (в и г)

Успешно развиваются традиционные для института работы по созданию оборудования и технологий обработки металлов давлением. Так, на основе метода безоблойной штамповки в закрытых штампах разработаны и освоены технологии изготовления точных поковок деталей эндопротеза тазобедренного сустава из титана и его сплавов, Co-Cr-Mo-сплава, пластин для остеосинтеза систем DHS, DCS и других из нержавеющей стали, а также инструмента из инструментальной нержавеющей стали Z20C13 (типа 40X13), которые поставляются на ЗАО «Алтимед» — крупнейший производитель медицинских имплантатов в Беларуси. Разработка обеспечивает ряд неоспоримых преимуществ: увеличение коэффициента использования металла до 85%, высокий уровень механических свойств сплавов, оперативность при освоении производства новых видов и типоразмеров поковок. Кроме того, стоимость комплекта эндопротеза на 30...40% меньше, чем у зарубежных аналогов, что ежегодно обеспечивает импортозамещение на сумму около 2,0 млн евро.

Обработка материалов концентрированными потоками энергии относится к приоритетным направлениям научно-технической деятельности ФТИ НАН Беларуси. Развиваются исследования в области физических основ лазерных технологий, обработки материалов с использованием плазменных потоков, ионных и электронных пучков, токов высокой частоты. В частности, успешно проходят исследования процессов формирования многофункциональных алмазоподобных углеродных (далее — АПУ) покрытий из углеродной плазмы, импульсного катодно-дугового разряда в вакууме. Процесс нанесения покрытий реализуется с использованием промышленного вакуумного оборудования с импульсным катодно-дуговым источником углеродной плазмы, который имеет оригинальную запатентованную конструкцию системы поджига плазмы в вакууме.

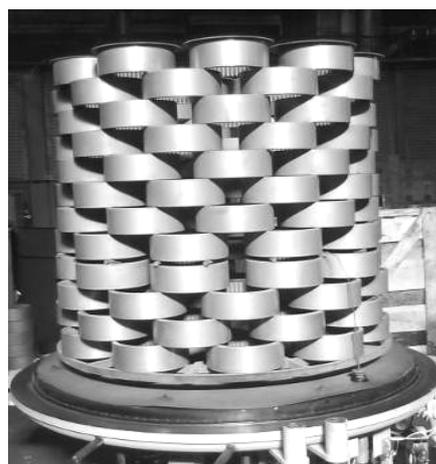
Получаемые АПУ-материалы нашли промышленное применение в качестве упрочняющих износостойких покрытий изделий машиностроения и инструментальной промышленности, для защиты работающих в условиях сухого трения подвижных частей литейных форм при производстве изделий из пластмасс. Разработана технология формирования композиционных наноструктурированных покрытий на основе оксида титана на медицинских имплантатах из сплавов титана сложной геометрической конфигурации, а также комплектах имплантатов с крепёжными изделиями. Покрытия оксида титана, в зависимости от толщины, могут иметь различный цвет, что позволяет использовать цветовое кодирование изделий. Это упрощает и ускоряет проведение операций по установке имплантатов и способствует более эффективному их использованию, а также повышает конкурентоспособность отечественных имплантатов на международном рынке. Разработанные покрытия используются в технологическом процессе изготовления медицинских имплантатов для остеосинтеза НП ООО «Медбиотех» и производстве искусственных клапанов сердца ПРУП «Завод “Электронмаш”».

На основе выполненных фундаментальных и прикладных исследований в области модифицирования и инженерии поверхности создано оборудование и начато серийное производство установок ионно-плазменного азотирования (далее — ИПА), технический уровень и стоимость которых позволяют успешно конкурировать, например, с такими известными фирмами, как PLATEG GmbH и ELTRO GmbH (Германия). В созданном оборудовании ИПА (рисунок 2, а) благодаря применению оптимальной системы теплозащиты при нагреве садки до 525...530°C удельные энергозатраты на 15...20% ниже, чем у немецких аналогов, и составляют 0,6...1,6 кВт · ч / кг в зависимости от загрузки камеры. Использование оборудования и технологии позволяет осуществлять упрочнение деталей длиной до 3 м, сократить продолжительность обработки в 2...5 раз, расход рабочих газов — в 20...100 раз, удельные затраты электроэнергии на формирование упрочнённого слоя — в 2...3 раза по сравнению с традиционным газовым азотированием. Поставки оборудования ИПА осуществлены на ОАО «МАЗ», ПО «Гомсельмаш», ОАО «Завод “Могилёвлифтмаш”», ОАО «БелАЗ».

В рамках Программы инновационного развития Республики Беларусь на 2011—2015 годы выполняются работы по созданию беспилотных летательных аппаратов и беспилотных авиационных комплексов (далее — БАК) и их отдельных подсистем. Введено в строй производство отечественных многофункциональных беспилотных летательных аппаратов с расширенными возможностями с дальностью действия 20, 50 и 290 км. Первым и пока единственным в Республике Беларусь ФТИ НАН Беларуси получил Сертификат Департамента по авиации Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь на производство БАК. В институте изготовлен и введён в эксплуатацию службами



а)



б)

**Рисунок 2 — Оборудование ИПА с изменяемой геометрией рабочей камеры производства ФТИ НАН Беларуси (а), шестерни 5440-2405050 в вакуумной камере установки, изготовленной для ОАО «МАЗ» (б)**

Министерства по чрезвычайным ситуациям БАК «Бусел М», разработанный с учётом требований организаций Минского областного исполнительного комитета. Изготовлен экспериментальный образец беспилотного летательного аппарата с дальностью действия до 290 км, а также БАК экологического мониторинга на базе дирижабля (рисунок 3).

С 2009 года в ФТИ НАН Беларуси совместно с БарГУ развивается новое для республики научное направление: магнитно-импульсная упрочняющая обработка стальных изделий, как незакалённых, так и закалённых. Сотрудничество осуществляется в рамках Государственной программы научных исследований «Функциональные и композиционные материалы, наноматериалы» подпрограммы «Высокоэнергетические технологии». Институтом разработан и изготовлен целый ряд установок для магнитно-импульсного упрочнения стальных изделий сферической, цилиндрической и плоской (рисунок 4) формы. Две из них переданы в БарГУ. За истекший период проведено большое количество научных и экспериментальных исследований, в результате которых разработаны опытные технологии упрочнения дереворежущих фрезерных ножей, проведены их опытно-промышленные испытания, показавшие увеличение стойкости упрочнённых магнитно-импульсным методом ножей в 1,5...3,0 раза по сравнению с такими же, но не упрочнёнными ножами. Работы в этом направлении продолжаются. Ведутся также совместные научно-прикладные исследования по разработке технологий изготовления рубильных ножей по производству щепы и организации их производства в рамках Государственного отдельного инновационного проекта.



а)



б)



в)

а — БАК «Буревестник»; б — БАК «Бусел М»; в — БАК экологического мониторинга на базе дирижабля

**Рисунок 3 — Беспилотные авиационные комплексы разработки ФТИ НАН Беларуси**



Рисунок 4 — Магнитно-импульсная установка для упрочняющей обработки плоских изделий

В 2013 году по заказу БарГУ в ФТИ НАН Беларуси разработана и изготовлена установка для ионно-плазменного азотирования стальных изделий (рисунок 5), по своим техническим характеристикам не уступающая лучшим зарубежным аналогам. Она предназначена для проведения научных исследований, а также выполнения заказов промышленных предприятий города и региона по упрочняющей обработке стальных изделий. Это хорошо увязывается с требованием модернизации производства, а также внедрением наукоемких технологий в производство, особенно в условиях региона. В принципе, создан центр коллективного пользования наукоемким оборудованием, позволяющий предприятиям региона на условиях хозяйственного договора с университетом выполнять ионно-плазменное упрочнение поверхностей деталей. В настоящее время большой интерес к установке ИПА проявили предприятия не только города Барановичи (ОАО «558 АРЗ», ОАО «Барановичский завод станкопринадлежностей», ОАО «Барановичский станкостроительный завод»), но и предприятия Гродно, Волковыска и др.

Наряду с выполнением производственных заказов проводятся научные исследования по отработке режимов ИПА для различных марок сталей в различных условиях азотирования. Таким обра-

зом, интеграционные взаимодействия ФТИ НАН Беларуси с региональным университетом в Барановичах позволяют решать главную задачу — приближение науки к региональному производству, внедрение в него наукоемких технологий.

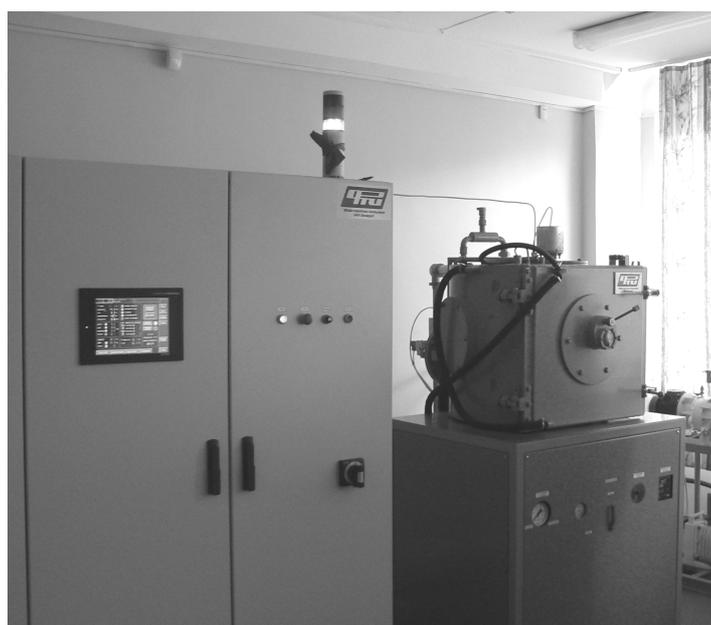


Рисунок 5 — Установка ионно-плазменного азотирования БарГУ

**Заключение.** В настоящее время Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси — это крупное научное учреждение, которое включает в себя 4 отдела, 16 отдельных лабораторий и секторов, 4 специализированных центра, опытное производство, и выполняет работы, востребованные в различных отраслях экономики Беларуси, — машиностроении, оборонной промышленности, микроэлектронике, службах Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, здравоохранении, строительной индустрии и пр. Ежегодно выполняется более 250 хозяйственных договоров и контрактов на поставку продукции и услуг, по собственным разработкам производится продукция более 100 наименований. Проводимая активная научная, научно-техническая, хозяйственно-договорная, организационная деятельность позволяет институту обеспечить развитие наиболее перспективных направлений и тем самым сохранить статус одного из ведущих научных учреждений Беларуси в области материаловедения и обработки материалов.

Материал поступил в редакцию 22.04.2014 г.

The results of the recent works carried out at the State Scientific Institution “Institute of Physics and Technical Sciences of the Belarusian National Academy of Sciences” (hereinafter — IPTS BNAS) are put forward. The examples of scientific results in the key research areas (materials science, metal forming, and surface modification of materials under high-impact) are under study, they became the basis for creating practically efficient innovations. Particular attention is paid to the development implemented in cooperation with the educational institution “Baranovichi State University.”

**Key words:** materials, induction equipment, electric and thermal hardening, magnet and pulse forming, ion-plasma nitriding, high-energy impact.