

УДК 621.001

ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ НТЦ «ТЕХНОЛОГИИ
МАШИНОСТРОЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ»
ОИМ НАН БЕЛАРУСИ

В.Л.БАСИНЮК, В.И.ЖОРНИК, Е.И.МАРДОСЕВИЧ

Государственное научное учреждение
«ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

Научно-технический центр «Технологий машиностроения и технологического оборудования» создан в 2009 году на базе «Отделения технологий машиностроения и металлургии», возглавляемого академиком П.А. Витязем и ставшего научным координатором НТЦ. В него вошли подразделения, научно-технический потенциал которых позволяет эффективно решать технически сложные вопросы создания современных наукоемких компонентов машиностроения, включая объекты аэрокосмической техники и других отраслей народного хозяйства. Высокая эффективность научных исследований достигается за счет тесного сотрудничества с научными, учебными и производственными предприятиями Беларуси, что позволяет комплексно решать стоящие перед НТЦ задачи, включая:

- подбор или создание конструкционных или композиционных материалов с требуемым для обеспечения конкурентоспособности разрабатываемых объектов комплексом свойств;
- исследования свойств разработанных материалов и внесение корректирующих поправок в методики расчета конструктивных параметров разрабатываемых объектов;
- разработку наукоемких компонентов машиностроения;
- разработку рациональных способов формирования заготовок ответственных деталей разработанных компонентов, обеспечивающих требуемый комплекс свойств для их последующей механической и упрочняющей обработки;
- создание средств испытаний, контроля качества и мониторинга технического состояния и параметров безопасности разработанных и иных компонентов машиностроения.

В совокупности это позволяет создать новые конкурентоспособные инновационные компоненты машиностроения или осуществить коренную модернизацию существующих объектов техники.

Решение приведенных выше задач обеспечивается высоким уровнем квалификации ведущих специалистов НТЦ, в состав которого вошли академик П.А. Витязь (научный координатор НИОТКР НТЦ – зав. отделением технологий машиностроения и металлургии), д-р техн. наук, проф. А.А. Шипко, д-р физ.-мат. наук В.А. Кукареко, д-р техн. наук В.Л. Басинюк (директор НТЦ), д-р техн. наук С.Г. Сандомирский, канд. техн. наук М.А. Бе-

лоцерковский, канд. техн. наук В.И. Жорник, канд. техн. наук Е.И. Мардосевич, канд. техн. наук А.И. Комаров, канд. техн. наук А.В. Толстой, канд. техн. наук Н.С. Янкевич, канд. техн. наук Руденко С.П. и многие другие, а также использованием при проведении НИОКР уникального исследовательского оборудования.

Специалисты НТЦ осуществляют координацию работ по заданиям ГКПНИ «Металлургия», Программы технического переоснащения и модернизации литейных, технических, гальванических и других энергоемких производств, раздела «Сверхтвердые и тугоплавкие материалы» ГКПНИ «Нанотехнологии». В них ОИМ НАН Беларуси выступает в качестве головной организации. Научные подразделения участвовали и участвуют в выполнении таких важнейших программ как «Космос-СГ», «Космос –НТ», «Машиностроение», работают на хоздоговорной основе и в рамках научно-технического сотрудничества с такими ведущими предприятиями Республики Беларусь, как ПО «МТЗ», ПО «МАЗ», НПО «Планар», ПО «БелАЗ», ПО «Гомсельмаш», ОАО «Белтрансгаз» и многими другими.

По результатам исследований специалистами НТЦ создано более 160 объектов интеллектуальной промышленной собственности, в том числе более 50 патентов на изобретения получено только за последних 5 лет.

В НТЦ проводятся НИОКТР в следующих областях:

- металловедение, разработка технологий и создание технологического оборудования для термической обработки и неразрушающего контроля с использованием методов магнитной структуроскопии деталей в условиях серийного производства (д-р техн. наук, проф. А.А. Шипко, д-р техн. наук С.Г. Сандомирский, канд. техн. наук А.В. Толстой, канд. техн. наук С.П. Руденко, канд. техн. наук А.И. Комаров);

- создание наноструктурных и сверхтвердых материалов (академик П.А. Витязь, канд. техн. наук В.И. Жорник);

- разработка технологий и создание оборудования для газотермического упрочнения, в том числе гиперзвуковой металлизацией, деталей путем нанесения металлических и полимерных композиционных покрытий (канд. техн. наук М.А. Белоцерковский);

- проведение с использованием самых современных методов и оборудования (рис. 1) структурных исследований и триботехнических испытаний (начальник ЦСИМИ – центра структурных исследований и трибомеханических испытаний материалов и изделий машиностроения д-р физ.-мат. наук В.А. Кукареко);

- создание перспективных приводных систем, в том числе космического назначения, разработка методов и средств их испытаний и мониторинга (д-р техн. наук, доц. В.Л. Басинюк, канд. техн. наук Е.И. Мардосевич, зав. отделением УП «КБТЭМ-СО» НПО «Планар» В.В. Заведеев).

Некоторые примеры инновационных разработок, характеризующих основные направления и технические возможности проведения научных исследований НТЦ приведены ниже.

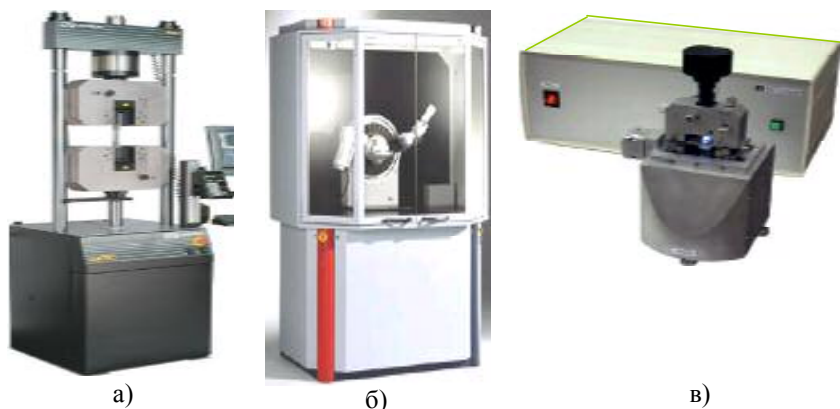


Рис. 1. Универсальная гидравлическая испытательная машина INSTRON Satec 300LX -(Великобритания) (а); рентгеновский дифрактометр D8 ADVANCE, изготовитель AXS Bruker (Германия) (б); атомно-силовой микроскоп NT-206 (в)

Под руководством заведующего отделением НТЦ академика П.А. Витязя и его заместителя канд. техн. наук В.И. Жорника разрабатываются *сверхтвердые инструментальные материалы, представляющие собой микро- и шлифпорошки кубического нитрида бора (КНБ) и композиты на их основе*. Эти материалы используются для абразивной обработки и изготовления режущих элементов и инструмента в целом для лезвийной обработки чугунов и закаленных сталей.

На основе ультрадисперсных алмазов (УДА) создан инструмент для финишной обработки керамических материалов в оптике и микроэлектронике. Его использование обеспечивает высокую точность обработки деталей и шероховатость их рабочих поверхностей 0,05-0,08 мкм.

Примеры изготавливаемых НТЦ микро- и шлифпорошков КНБ, абразивного инструмента на основе композитов, содержащих УДА показаны на рисунке 2 а-г. Структура поликристаллического материала на основе нанод алмазов, полученная с использованием показанного выше научно-исследовательского оборудования НТЦ, показана на рисунке 2 д-з.

К одному из наиболее перспективных направлений повышения ресурса трущихся сопряжений, интенсивно развиваемым научно-исследовательскими центрами индустриально развитых стран можно отнести создание смазочных материалов со специальными свойствами. В лаборатории наноструктурных и сверхтвердых материалов НТЦ также ведутся исследования в этом направлении. Создана пластичная комплексная литевая смазка с пакетом наноразмерных добавок, обеспечивающих повышение ресурса тяжело нагруженных узлов трения.

Новый смазочный материал имеет пространственно сшитый каркас из коротковолокнистых нитей (рис. 3), обладающий большей маслоудерживающей способностью. Это определяет его более высокую нагрузочную способность (в 1,6-3,3 раза), расширенный на 30-40 °С диапазон рабочих температур и увеличенный в 1,4-1,7 раза ресурс.



а) микропорошки КНБ



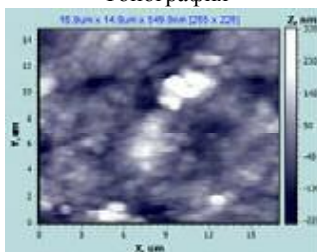
б) шлифпорошки КНБ



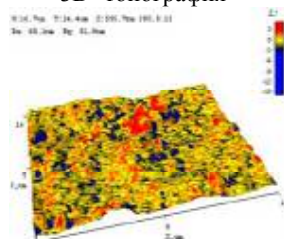
в) абразивный инструмент на основе композитов, содержащих УДА ЗД- топография



г) лезвийный инструмент на основе композитов, содержащих КНБ+УДА

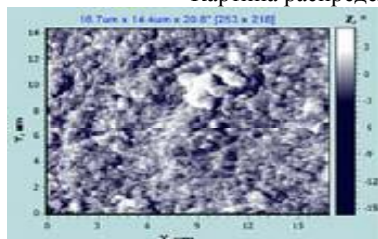


д)

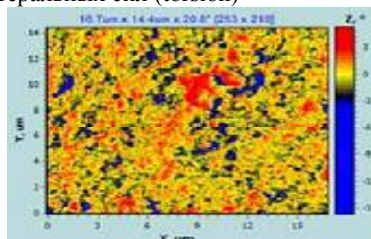


е)

Картина распределения латеральных сил (torsion)

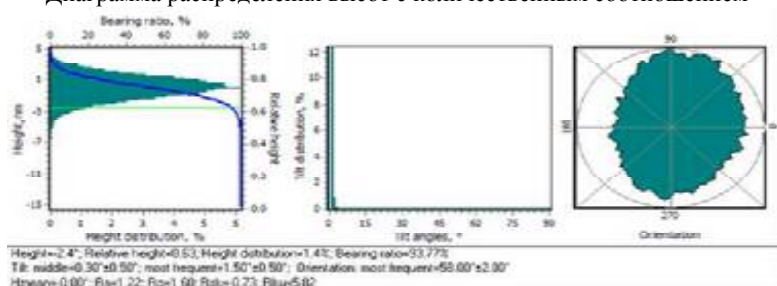


ж)



з)

Диаграмма распределения высот с количественным соотношением



и)

Рис. 2. Микро- и шлифпорошки (а,б), инструмент на их основе (в,г) и структура поликристаллического материала на основе наноалмазов (д-и)

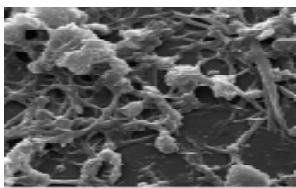


Рис. 3. Структура дисперсной фазы комплексной литиевой смазки с пакетом наноразмерных добавок

Технические характеристики:

Критическая нагрузка, Н - не ниже 1200;
 Нагрузка сваривания, Н - не ниже 5000;
 Температура каплепадения, °С - не ниже 230;
 Коллоидная стабильность, % - 2...3;
 Удельная нагрузка, МПа - до 40;
 Диапазон рабочих температур, °С - 45 ÷ +150;
 (кратковременно до 180).

Комплексная литиевая смазка может быть использована для смазывания узлов трения, работающих в условиях высоких нагрузок и вибраций (карьерная техника, железнодорожный транспорт, строительно-дорожные машины, сельхозтехника), при высоких температурах (сталепрокатные станы, кузнечно-прессовое оборудование, вентиляторы печей, системы приточно-вытяжной вентиляции и др.). Выпуск этой смазки освоен ОДО «Спецсмазки» Инновационной ассоциации «Академтехнопарк» с проектной мощностью производства 50 тонн в год. Потребителями продукции являются ОАО «Белкард» (г. Гродно), ОАО «Минский подшипниковый завод», РУП «Кузнечный завод тяжелых штамповок» (г. Жодино), РУП «Гомельский завод литья и нормалей» и ряд других машиностроительных предприятий республики.

Для тяжело нагруженных узлов скольжения разработаны композиты с макрогетерогенной структурой и алмазосодержащим смазочным покрытием. Предел прочности этих материалов на сжатие составляет 830-850 МПа. При их использовании удельная эксплуатационная нагрузка может достигать 40 МПа, скорость скольжения – до 2 м/с при рабочей температуре до 250 °С. При этом коэффициент трения не превышает 0,06...0,10, а интенсивность изнашивания - 10 мкм/км.



Пластины под корпус подшипников турбины



Подшипники узла скольжения системы парораспределения



Проставки в узлах продольных шпонок



Опора регенеративного воздухоподогревателя

Рис. 4. Элементы узлов скольжения из композиционных материалов для тепловыделительного оборудования

Эти композиционные материалы были использованы для изготовления элементов узлов скольжения при ремонте и реконструкции узлов скольжения теплоэнергетического оборудования предприятий концерна Белэнерго (рис. 4).

В лаборатории Газотермических методов упрочнения деталей под руководством канд. техн. наук М.А. Белоцерковского разработан новый метод и оборудование (рис. 5) для гиперзвуковой металлизации деталей.



Рис. 5. Аппарат гиперзвуковой металлизации с малогабаритной камерой сгорания (ГМ)

Использование разработанной технологии позволяет наносить на детали износостойкие покрытия с повышенной прочностью сцепления, выдерживающие высокие контактные нагрузки при ударном нагружении. К отличительной особенности установки ГМ можно отнести наличие малогабаритной камеры сгорания пропано-воздушной смеси. Продукты сгорания образуют сверхзвуковую струю, имеющую скорость свыше 1500 м/с при 2200 К.

Процесс и оборудование для гиперзвуковой металлизации используются для восстановления – упрочнения изношенных цилиндрических поверхностей (шейки валов и осей, работающих в паре с подшипниками качения и скольжения, тормозные барабаны); восстановления – упрочнения плоских деталей (направляющие, фрикционные диски); защиты от коррозии деталей, элементов конструкций и сооружений; изготовления биметаллических "сталь - бронза" поршней вместо цельнобронзовых. Это позволяет экономить 15 – 20 % металла, расходуемого на ремонт деталей автотракторной техники, снизить себестоимость ремонта на 5 – 10 %, сократить на 20 – 30 % объемы закупок за рубежом дорогостоящих новых деталей автотракторной техники, продлив сроки эксплуатации деталей с защитными покрытиями в 1,8 – 3,5 раза за счет неоднократного их восстановления при проведении плановых ремонтов. Технологии и оборудование для гиперзвуковой металлизации (отмечены дипломами выставок «MILEX-2007» и «БелЭкспоФорум-2008»).

В лаборатории приводов механических систем НТЦ группой специалистов под руководством вед. науч. сотр. канд. техн. наук Леванцевича М.А. разработана технология и комплект оснастки для формирования ком-

позиционных покрытий на рабочих поверхностях деталей триботехнического назначения (направляющие скольжения, корпусные и несущие детали металлообрабатывающих станков, зубчатые колеса редукторов, трансмиссий и т.п.) методом механического плакирования гибким инструментом (рис. 6). Это позволяет не только повысить ресурс и антикоррозионные свойства, но и в ряде случаев, например, в передачах зацепления, снизить генерируемые шум и вибрации.

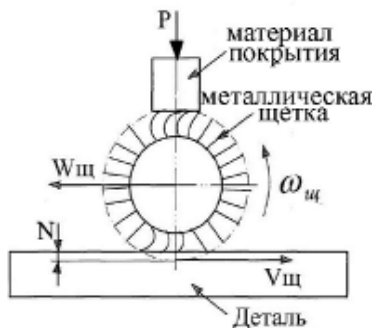


Рис. 6. Схема обработки

Толщина формируемого этим способом композиционного покрытия составляет 0,005...0,3 мм, производительность процесса формирования покрытия толщиной 5...10 мкм - 4400...4800 $\text{дм}^2/\text{ч}$, себестоимость сформированного покрытия - 1,1...1,3 дол/ дм^2 . Внедрение технологий и оборудования для формирования композиционных покрытий методом механического плакирования гибким инструментом может быть успешно использована в ремонтном производстве.

На рис. 7 показана обработка посадочных отверстий станин станков с ЧПУ, втулок и внутренних цилиндрических поверхностей. Это позволяет обеспечить снижение шероховатости обрабатываемой поверхности на 1...2 класса и коэффициентов трения на 25...40 %.



Рис. 7. Примеры формирования композиционных покрытий

В этой же лаборатории (зав. лаб. В.Л. Басинюк) в секторе канд. техн. наук. Е.И. Мардосевич совместно со специалистами ОАО «Белтрансгаз» выполнен комплекс НИОКР по созданию импортозамещающих электроизолирующих фланцевых соединений системы химической антикоррозийной защиты магистральных газовых трубопроводов. Комплект оборудования для нанесения покрытий показан на рис.8.

Созданный комплекс технологических решений и оборудования может быть успешно использован в машиностроении, электротехнической и пищевой промышленности, станках для деревообработки и т.п.



Установка для нанесения полимерного покрытия на фланцы



Программно-аппаратный комплекс управления техпроцессом



Фланцевое соединение в сборе

Рис. 8. Установка для нанесения износостойких декоративных полимерных покрытий

Декоративное цветное полимерное покрытие имеет толщину 0,4...1 мм. Отличительной особенностью его использования является возможность комплексного решения проблемы обеспечения высокой износостойкости, декоративного вида, повышенных до 3...20 кВ электроизолирующих и высоких антикоррозийных свойств, а также и обеспечение экологической безопасности эксплуатации применения.

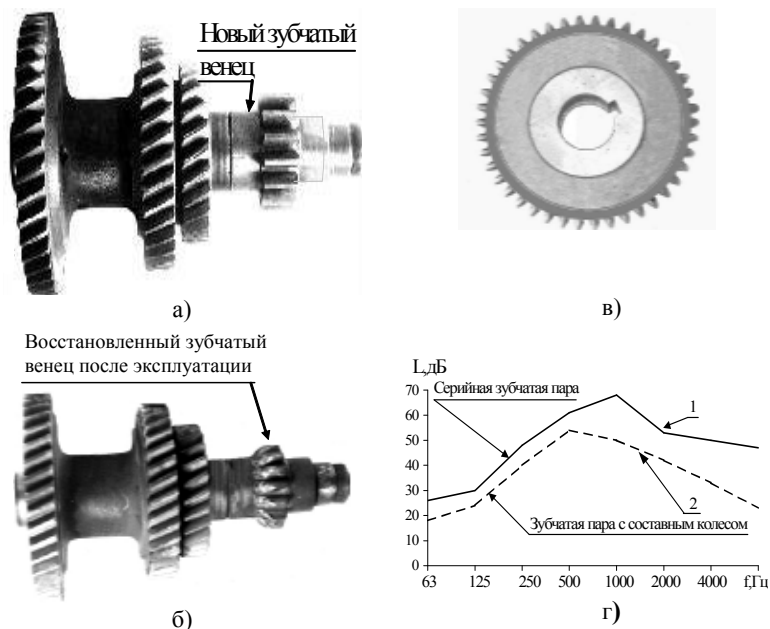


Рис. 9. Блок шестерен коробки скоростей грузового автомобиля ГАЗ-53 с восстановленной заменой с клеевым соединением изношенного на новый зубчатого венца первой передачи и заднего хода (а) и его вид после полного цикла повторной эксплуатации (б); зубчатое колесо станочной передачи с клеевым соединением венца и ступицы (в) и амплитудный спектр вибраций, генерируемых этой передачей

Одна из разработок лаборатории приводов механических систем, включающая технические решения в области «холодного» клеевого соединения элементов при создании композиционных биметаллических систем показана на рис. 9.

К основным преимуществам использования современных клеевых композиций в машиностроении можно отнести:

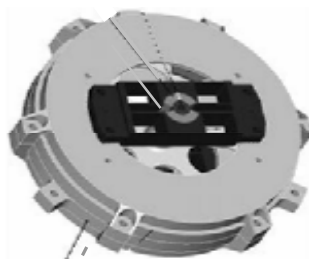
- возможность использования высоколегированных дорогостоящих сталей только в высоконагруженных элементах конструкции;
- возможность применения высокотехнологичных ресурсосберегающих методов обработки, например, при создании блоков шестерен коробок скоростей мобильной техники и обрабатывающего оборудования;
- возможность снижения шума и вибраций, генерируемой трансмиссиями на 6...12 дБ;
- значительное повышение ремонтпригодности и возможности многократного проведения восстановительных работ.

К одной из наиболее перспективных направлений научно-исследовательских работ лаборатории «Приводы механических систем» можно отнести создание в рамках программ «Космос – СГ» и «Космос-НТ» программно-управляемых сервоприводов (рис. 10), ориентированных на функционирование в экстремальных наземных условиях и на аэрокосмических объектах, в том числе открытом космосе (совместная разработка специалистов НТЦ ОИМ с УП «КБТЭМ-СО НПО «Планар», ИММС и ФТИ НАН Беларуси, ИПМех РАН и НПО им. Лавочкина, научные руководители: от Республики Беларусь академик П.А. Витязь, от Российской Федерации –М.А. Броневец).

Двигатель для трибометра



Модуль испытаний подшипников скольжения



Трибометр для испытаний материалов на МКС в открытом космосе



Рис. 10. Трибометр с сервоприводом для МКС и его компоненты

Для мониторинга технического состояния механических и гидравлических приводов в Лаборатории приводных систем создан комплекс методических и аппаратно-программных средств (рис. 11, 12), позволяющих оценить их прогнозируемый или остаточный ресурс в цеховых условиях, при испытаниях и в эксплуатации.

Аппаратно-программные комплексы для мониторинга технического состояния гидравлических приводов по КПД (рис. 11) созданы в процессе совместных исследований специалистов НТЦ и ПО МТЗ (руководитель НИОКР от ПО МТЗ - И.Н. Усс). Они ориентированы на оценку качества изготовления и сборки насосов и гидравлических приводов мобильных машин, обрабатывающего и технологического оборудования, а также оценку их технического и остаточного ресурса состояния при испытаниях и в эксплуатации. В основу создания методических и аппаратно-программных средств мониторинга технического состояния гидроприводов положено два методических подхода. Первый ориентирован на испытания, оценку качества изготовления и сборки в цеховых условиях и мониторинг гидроприводов в стационарных условиях. В нем нагружения осуществляются посредством гидроаккумулятора или программно-управляемого дросселя, второй - на мобильный мониторинг гидроприводов с использованием переносных или бортовых микропроцессорных систем.

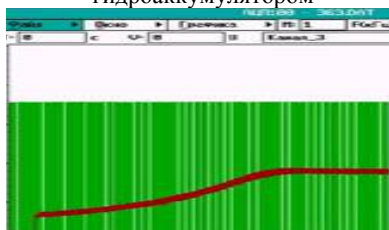
Стендовый комплекс на ПО МТЗ



Комплекс для оценки остаточного ресурса гидронасосов



Осциллограмма изменения давления при нагружении гидроаккумулятором



Осциллограммы затухающих колебаний давления при мобильном мониторинге гидроприводов навесных устройств тракторов

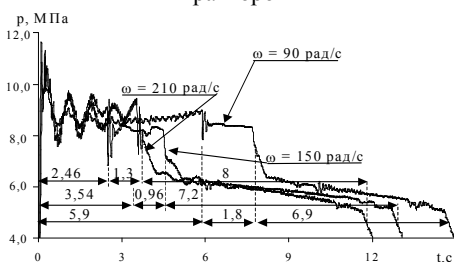


Рис. 11. Средства контроля технического состояния насосов и гидроприводов

Комплекс для вибродиагностики трансмиссий на основе передач зацеплением и роторных систем МАК-01 показан на рис. 12. Комплекс внедрен на ЭРУП «Опытный завод путевых машин станции Пинск Белорусской железной дороги». При его использовании для каждой кинематической схемы привода составляется эталонный спектр, по отношению к которому производится диагностика машины.



Рис. 12. МАК-1

Приведенные выше примеры технических возможностей специалистов комплексного научно-технического центра «Технологии машиностроения и технологическое оборудование» Объединенного института машиностроения НАН Беларуси и их практической реализации подтверждают эффективность и перспективность проведения совместных с производственными предприятиями и учебными заведениями НИОКТР в области создания инновационных разработок в Республике Беларусь.