

Скобло Т.С.  
Сидашенко А.И.  
Тихонов А.В.  
Гончаренко А.А.  
Мартыненко А.Д.  
Романюк С.П.  
Плугатарьов А.В.  
Мальцев Т.В.  
Рибалко И. Н.

Харьковский национальный  
технический университет сельского  
хозяйства имени Петра Василенко,  
г. Харьков, Украина  
E-mail: alex-goncharenko@i.ua

## ПРИМЕНЕНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 621.791+620.22

*Скобло Т.С., Сидашенко О.И., Тихонов О.В., Мартыненко О.Д., Гончаренко О.О., Романюк С.П., Плугатарьов А.В., Мальцев Т.В., Рибалко И. М. «Застосування нанотехнологій в машинобудуванні»*

З огляду на те, що розробка і застосування нанотехнологій вимагає складного і багатofакторного підходу в дослідженнях, є тривалим, базується на глибоких знаннях в галузі фізики, хімії, математики, матеріалознавства і навіть металургії, то такий індивідуальний підхід до конкретних деталей машинобудування часто стримується великими витратами з- за необхідності в проведенні таких багатопланових, всебічних досліджень.

У статті виконано аналіз технологій, які ефективні в машинобудуванні. Це різні присадки в мастило, пластичні мастила, покриття для зменшення пошкоджуваності при терті і зниженні схильності до корозійної пошкоджуваності, інтенсивного зносу в сполученнях, при стендовій обкатці двигунів. Застосування таких технологій в машинобудуванні розробляються з урахуванням фізико-хімічних процесів, що забезпечують споживчі властивості виробів в експлуатації.

Безпосередньо при виготовленні і відновленні деталей в машинобудуванні число розробок вельми обмежена, що пов'язано на відміну від застосування гелів, мастил, рідких покриттів (фарб, плівок), з більш складним індивідуальним підходом для підвищення споживчих властивостей в експлуатації.

У зв'язку з індивідуальним підходом в кожному конкретному випадку експлуатації, із забезпеченням споживчих властивостей при зміцненні нанопокриттями і відновлювальної технології працездатності деталей машинобудування необхідне проведення багатоступеневих наукових досліджень, без яких використання новітніх технологій може виявитися високо витратним і не ефективним і з точки зору досягнення оптимальної структури металу і властивостей.

У роботі приведена інформація про основні розробки, виконані в ХНТУСГ імені Петра Василенка, що стосуються конкретних досягнень.

Роботи в галузі машинобудування проводяться за двома напрямками

- нанесення зміцнюючих нано- покриттів на різальний інструмент, що використовується в машинах і обладнанні, в тому числі при переробці продукції (ножі для дроблення бурака на цукрових підприємствах, в кондитерському виробництві при дробленні горіхів, а також упаковок цукерок в коробки, в комбайнах для дроблення полови при збиранні врожаю), поршневих кілець, деталей паливної апаратури машин, покриттів на приладах, використовуваних в електроніці.

- нанесення відновлювальних та зміцнюючих покриттів на вали, деталі сполучень шляхом їх модифікування нано- і дисперсними присадками алмазів і вторинної шихтою від утилізації боєприпасів.

Як показав досвід розробок університету, такий підхід викликає особливий інтерес фахівців і затребуваний на підприємствах.

**Ключові слова:** нанотехнології, машинобудування, наноматеріал, нанопокриття, модифікування, дисперсні присадки, вторинна шихта, зносостійкість, експлуатаційні властивості.

*Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Тихонов А.В., Мартыненко А.Д., Гончаренко А.А., Романюк С.П., Плугатарьов А.В., Мальцев Т.В., Рибалко И. Н. «Применение нанотехнологий в машиностроении»*

Учитывая то, что разработка и применение нанотехнологий требует сложного и многофакторного подхода в исследованиях, является длительным, базируется на глубоких знаниях в области физики, химии, математики, материаловедения и даже металлургии, то такой индивидуальный подход к

конкретным деталям машиностроения часто сдерживается большими затратами из-за необходимости в проведении таких многоплановых, всесторонних исследований.

В статье выполнен анализ технологий, которые эффективны в машиностроении. Это различные присадки в масло, пластичные смазки, покрытия для уменьшения повреждаемости при трении и снижении склонности к коррозионной повреждаемости, интенсивному износу в сопряжениях, при стендовой обкатке двигателей. Применение таких технологий в машиностроении разрабатываются с учетом физико-химических процессов, обеспечивающих потребительские свойства изделий в эксплуатации.

Непосредственно при изготовлении и восстановлении деталей в машиностроении число разработок весьма ограничено, что связано в отличие от применения гелей, смазок, жидких покрытий (красок, пленок), с более сложным индивидуальным подходом для повышения потребительских свойств в эксплуатации.

В связи с индивидуальным подходом в каждом конкретном случае эксплуатации, с обеспечением потребительских свойств при упрочнении нанопокрытиями и восстановительной технологии работоспособности деталей машиностроения необходимо проведение многоступенчатых научных исследований, без которых использование новейших технологий может оказаться высокзатратным и не эффективным и с точки зрения достижения оптимальной структуры металла и свойств.

В работе приведена информации об основных разработках, выполненных в ХНТУСХ имени Петра Василенка, касающиеся конкретных достижений.

Работы в области машиностроения проводятся по двум направлениям

- нанесение упрочняющих нано- покрытий на режущий инструмент, использующийся в машинах и оборудовании, в том числе при переработке продукции (ножи для дробления бурака на сахарных предприятиях, в кондитерском производств при дроблении орехов, а также упаковке конфет в коробки, в комбайнах для дробления половы при уборке урожая), поршневых колец, деталей топливной аппаратуры машин, покрытий на приборах, используемых в электронике.

- нанесение восстановительных и упрочняющих покрытий на валы, детали сопряжений путем их модифицирования нано- и дисперсными присадками алмазов и вторичной шихтой от утилизации боеприпасов.

Как показал опыт разработок университета, такой подход вызывает особый интерес специалистов и востребован на предприятиях.

**Ключевые слова:** нанотехнологии, машиностроение, наноматериал, нанопокрытие, модифицирование, дисперсные присадки, вторичная шихта, износостойкость, эксплуатационные свойства.

*Skoblo, T.S., Sidashenko, A.I., Tikhonov, A.V., Martynenko, A.D. Goncharenko A.A., Romanyuk S.P., Plugatarov A.V., Maltsev T.V., Ribalko I.N. "Application of nanotechnology in mechanical engineering"*

Given that the development and application of nanotechnologies requires a complex and multifactorial approach to research is a long, based on a deep knowledge in physics, chemistry, mathematics, materials and even metals, such an individual approach to the specific detail of mechanical engineering is often hampered by high costs due the need to conduct such multidisciplinary, comprehensive studies.

This article gives an analysis of the technologies that are effective in mechanical engineering. These are various additives in oil, greases, coating to reduce damage in friction and reducing the propensity for corrosion damage, increased wear in the pairings, at run-Metal engines. The use of such technology in mechanical engineering tailored to the physical and chemical processes that provide consumer properties of products in use.

Directly in the manufacture and recovery of mechanical pieces in the number of development it is very limited, due in contrast to use gels, greases, liquid coatings (paints, films), with a more complex approach to increase individual consumer characteristics in operation.

In connection with an individual approach to each case of operation, ensuring consumer properties at hardening nanocoatings and reducing performance engineering parts technology necessary to carry out multi-stage research, without which the use of new technologies can be highly costly and not effective in terms of achieving the optimal structure and metal properties.

The paper provides information on the main developments made in the name of Peter HNTUSKH Vasilenko, relating to specific achievements.

Work in the field of engineering are conducted in two directions

- deposition of hardening coatings on nano-cutting tool used in machinery and equipment, including the processing of products (knives for crushing sugar beet at sugar factories, confectionery industries with crushed nuts and candy packaging in boxes, in combines crushing chaff during harvesting), piston rings, fuel equipment of machine parts, coatings on the devices used in electronics.

- applying a remedial and hardening coatings on shafts, parts of their interfaces by modifying nano-diamonds and additives dispersed and secondary mix material from disposal of ammunition.

As the experience of university research, this approach is of particular interest to specialists and in demand in the workplace.

Nanotechnology can be a powerful tool for the integration of the technological complex in the international market of high-tech, reliable maintenance of competitiveness of domestic products.

**Keywords:** nanotechnology engineering, nanomaterials, nano-coating, modifying, dispersion additives, secondary charge, wear resistance, running properties.

### **Актуальность проблемы**

В последние годы нанотехнологии широко разрабатываются и внедряются особенно в передовых странах мира. Так, для их развития, начиная с 2003 года в США финансируются такие разработки, согласно национальной программы из федерального бюджета, а также отдельных штатов и бизнеса в общем объеме 3,640 млрд. долларов.

Страны Евросоюза, Японии и Китая на развитие различных программ по нанотехнологиям выделяют до 2,0 млрд. долларов.

В странах СНГ также разрабатываются такие программы исследований. Однако пока не известна сумма их финансирования.

Основными направлениями исследований по нанотехнологиям в мире являются:

-Создание материалов с предварительно заданными свойствами путем проведения операций с отдельными молекулами;

-Конструирование нанокomпьютеров, которые используют вместо обычных микросхем с набором логических элементов и молекулами;

-Создание нанороботов-систем, которые самостоятельно размножаются и предназначены для ведения строительства на молекулярном уровне.

Фактически приведенная направленность работ предусматривает развитие таких областей знаний как физика, химия, биология медицина, материаловедение и в меньшей мере относится к машиностроению и ремонту техники.

Нанотехнологии могут стать мощным инструментом интеграции технологического комплекса в международный рынок высоких технологий, надежного обеспечения конкурентоспособности отечественной продукции.

Разработка и успешное освоение новых технологических возможностей потребует координации деятельности на государственном уровне всех участников нанотехнологических проектов, их всестороннего обеспечения (правового, ресурсного, финансово-экономического, кадрового), активной государственной поддержки отечественной продукции на внутреннем и внешнем рынках.

Формирование и реализация активной государственной политики в области нанотехнологии позволит с высокой эффективностью использовать интеллектуальный и научно-технический потенциал страны в интересах развития науки, производства, здравоохранения, экологии, образования и обеспечения национальной безопасности.

Нанотехнологии могут быть эффективными и при разработке и внедрении их в массовое производство в машиностроении. Так буквально отдельные детали и узлы в автомобилестроении могут быть значительно упрочнены или восстановлены с использованием нанотехнологий.

### **Анализ последних исследований**

Одним из наиболее перспективных и многообещающих направлений применения достижений современной нанотехнологии в производстве является область наноматериалов и электронных устройств [1-6].

Уже широко используют легко очищающиеся и водоотталкивающие краски для материалов кузова машины, снижающие склонность к коррозии и основанные на использовании диоксида кремния.

Такое покрытие приобретает новые свойства, позволяющие частицам SiO<sub>2</sub> при высыхании коллоидного раствора прочно присоединяться к различным поверхностям, в первую очередь к родственному им по составу стеклу, образуя, тем самым, сплошной слой наноразмерных выступов [7].

Покрытие наночастицами кремнезема делает обработанную поверхность с пленкой SiO<sub>2</sub> гидрофобной и капля воды касается субстрата лишь немногими точками, что в несколько раз уменьшает Ван-дер-ваальсовы связи и позволяет обеспечить поверхностное натяжение жидкости, сжать каплю в шарик, который легко скатывается по наклоненному стеклу, унося с собой накопившуюся грязь.

В силу наноразмерной толщины, такие покрытия совершенно невидимы, а благодаря биоинертной структуре кремнезема - безвредны для человека и окружающей среды. Они устойчивы к ультрафиолету и выдерживают температуры до 400 °С, а действие водоотталкивающего эффекта длится в течение 4 месяцев.

Несколько зарубежных фирм уже выпускают подобные покрытия в промышленных масштабах. На российском рынке их продукцию представляет эксклюзивный дистрибьютор - компания Nanotechnology News Network.

Что касается самоочищающихся поверхностей, то такая технология основана на использовании диоксида титана. Принцип действия материала с таким покрытием заключается в следующем.

При попадании ультрафиолетового излучения на нанопокрытие из TiO<sub>2</sub> происходит фотокаталитическая реакция. В ходе этой реакции испускаются отрицательно заряженные частицы - электроны, а на их месте остаются положительно заряженные поры. Благодаря появлению комбинации плюсов и минусов на поверхности, покрытой катализатором, содержащиеся в воздухе молекулы воды превращаются в сильные окислители - радикалы гидроокиси (НО), которые в свою очередь окисляют и расщепляют грязь, а также нейтрализуют различные запахи и убивают микроорганизмы.

Кроме покрытий для стекол также разработаны и выпускаются составы с аналогичным действием для тканей, металла, пластика, керамики - и все они эффективны для применения в автомобильной промышленности.

Из серийных моделей автомобилей гидрофобное покрытие наносится на боковые стекла Nissan Teгgano II. Оно не создает полноценный водоотталкивающий эффект, но уменьшает пятно контакта поверхности с каплями воды, благодаря чему во время дождя стекло остается вполне прозрачным (см. рис. 1).

По некоторым сообщениям, концерн BMW работает над созданием самоочищающихся покрытий на основе нанопорошков.

Компания Mercedes-Benz с конца 2003 года выпускает модели автомобилей А, С, Е, S, CL, SL, SLK, покрытые новым поколением прозрачных лаков, изготовленных с использованием нанотехнологий. В состав верхнего слоя такого лакокрасочного покрытия вводят наноскопические керамические частицы. По утверждению создателей, новое лакокрасочное покрытие защищает кузов от царапин в три раза эффективнее, чем обычный лак.

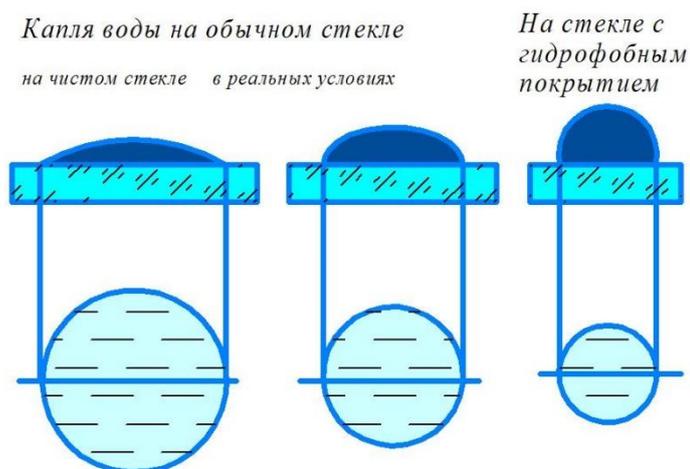


Рис.1. Водоотталкивающий эффект гидрофобного покрытия [7]

По результатам испытаний оказалось, что покрытые лаком нового типа машины сохраняет блеск на 40% сильнее, чем покрашенные обычной краской. Новое покрытие не только защищает кузов от механических повреждений, но еще и полностью отвечает требованиям производства Mercedes относительно устойчивости к воздействию химических элементов, находящихся в воздухе.

В настоящее время с использованием нанотехнологических подходов начато производство высокоэффективных, антифрикционных и снижающих износ покрытий для автотранспорта. Так, концерн «Наноиндустрия» наладил серийное производство ремонтно-восстановительного состава для изношенных деталей под названием «Нанотехнология». Состав предназначен для обработки деталей, работающих в условиях трения - двигателей, трансмиссий [8].

При применении состав такой технологии формирует модифицированный высокоуглеродистый железосиликатный защитный слой (МВЗС) толщиной 0,1-1,5 мм в зонах интенсивного трения металлических поверхностей, что дает возможность избирательно компенсировать износ зон интенсивного трения и контакта деталей за счет образования в них нового модифицированного поверхностного слоя. Использование РВС позволяет увеличивать ресурс работы узлов и деталей в 2-3 раза за счет замены плановых ремонтов предварительной обработкой, снижающей вибрации и шум (на 70-80%), а также токсичность выхлопа автомобиля без применения каких-либо дополнительных мер.

В аэрокосмической промышленности уже широко применяют семейство наноструктурированных аэрогелей. Так, кремниевый аэрогель - лучший в мире твердый теплоизолятор, когда-либо полученный. Для промышленности он представляет интерес, так как обладает высокой термической изоляцией - до 800° С (2,5-сантиметровый слой, силиконового аэрогеля надежно защищает руку человека от огня паяльной лампы) и является акустической изоляцией (скорость звука при прохождении через аэрогель составляет лишь 100 м/с). Развитие нанотехнологии позволит снизить себестоимость производства аэрогелей и обеспечит этому виду материалов доступ для применения в различных отраслях промышленности, в том числе автомобильной.

Большие перспективы имеются в улучшении эксплуатационных свойств электронных компонентов транспортных средств с помощью нанотехнологий. Так Микро- Электронно -Механические системы (MEMS) уже расширяют стандартную технологию использованной микроэлектроники, что позволяет объединять в одной микросхеме элементы, обеспечивающие как механическое перемещение физических частиц, так и электронов в электрической схеме.

Это позволяет вместо отдельного производства микроактюаторов и сенсоров, делать их в виде интегрированного в микросхеме единого изделия. Для их производства используют уже апробированную традиционную технологию производства интегральных микросхем и полупроводников.

Идею создания подвижного кремния иллюстрируют MEMS-акселерометры, которые уже широко используют в качестве сенсоров автомобильных подушек безопасности.

Вращающиеся акселерометры также используются для расширения возможностей антиблокировочных систем автомобиля (ABS). Кроме того, в автомобилях MEMS находят применение датчики продольных и поперечных ускорений, а также - крена и др. Определяя положение кузова, они служат источником информации для работы различных электронных систем стабилизации и контроля курсовой устойчивости. Также MEMS представляют интерес для создания датчиков давления, температуры. В дорогих автомобилях количество датчиков и сенсоров на основе MEMS- технологии может составлять до нескольких десятков штук. Кроме измерения ускорений и детектирования перемещений, MEMS используют в системах GPS-навигации.

История развития MEMS насчитывает более сорока лет, но широкое практическое распространение эти системы получили только с середины 90- ых годов прошлого века. В настоящее время уже идет речь о развитии NEMS – Nano-Electro-Mechanical-Systems. В результате эволюции NEMS происходит уменьшение до нано размеров механических компонентов систем, снижается их масса. При этом увеличивается их резонансная частота и уменьшаются константы взаимодействия, что сказывается на значительном повышении функциональности данного типа устройств. Точность измерения перемещения лучших в образцах таких устройств составляет 10 нанометров.

Развитие нанотехнологий обещает массовое распространение новых конструкционных материалов с уникальными свойствами и характеристиками. Наибольший интерес для инженеров и исследователей представляют углеродные материалы, из которых в настоящее время наиболее изученными и перспективными для целей практического применения имеют углеродные нанотрубки (УНТ). Они обладают самым широким набором уникальных свойств, делающих их чрезвычайно перспективными для использования, в автомобилестроении.

Баллистический характер электропроводности УНТ (электроны движутся, как бы скользя по поверхности, не встречая препятствий) позволит создавать высокоэффективные электропроводящие узлы различных машин и механизмов, в том числе автомобилей.

Углеродные нанотрубки уже находят применение в конструкции современных автомобилей. Например, инженеры компании Toyota добавляют композиционный материал на основе УНТ в пластиковые бамперы и дверные панели выпускаемых автомобилей. Помимо повышения прочности и снижения массы, пластик со смолой из УНТ становится электропроводным, и его можно покрывать теми же красками, что металлические детали.

Электронные системы все более тесно интегрируются в конструкцию транспортных средств. Наблюдаются дальнейшие тенденции расширения использования электроники в автомобилях с одновременным усовершенствованием самой *полупроводниковой техники на основе нанoeлектроники и молекулярной электроники.*

Нанотранзисторы, в том числе с нанотрубками в конструкциях будут обладать рядом улучшенных характеристик и бесспорных преимуществ по сравнению с традиционными кремниевыми. Они обеспечат:

- повышенное быстродействие;

- термо - и радиационную стойкость;
- миниатюрность;
- низкое энергопотребление и незначительное тепловыделение при эксплуатации.

Большой интерес представляют нанотехнологии для создания перспективных транспортных средств на топливных элементах.

С помощью нанотрубок предполагается решить проблему надежного и безопасного хранения водорода на борту транспортного средства, так как наряду с металлами и жидкостями углеродные нанотрубки могут заполняться газообразными веществами и связывать большое его количество.

Китайские и американские ученые совместно разработали нанолампочку, в которой нитью накаливания служит не вольфрамовая проволока, а углеродные нанотрубки. Лампочка с УНТ более экономичная при равном напряжении и испускает больше света.

Сейчас конструкторы «гибридных» автомобилей уже сталкиваются с потребностью в компактных, легких и высокоёмких аккумуляторных батареях.

Традиционные кислотные аккумуляторы не эффективны в силу большой массы, громоздкости, экологической «не безупречности». С ростом парка гибридов, а также с массовым появлением водородных автомобилей на ТЭ потребность в автономных источниках хранения электрической энергии возрастет еще больше. Нанотехнологии предлагают ряд решений данной проблемы.

В силу того, что большинство автомобилей будущего будет работать на электрической тяге, гораздо больший интерес *будет* представлять использование фотоэлементов в конструкции. В этом отношении нанотехнологии позволяют создавать долговечные, ультратонкие и гибкие преобразователи солнечного света. Кроме того, использование нанотехнологических подходов к использованию позволит получать солнечные панели с КПД до 80-90%.

В этом случае изменятся конструкции автомобилей и структура всей автомобильной отрасли производства. Применение нанодобавок при обкатке и эксплуатации двигателей позволит снизить 8-10% износ деталей и расходы на энергоносители [9].

Так, с появлением автоматизированной молекулярной нанотехнологии получит новое развитие уже наметившаяся тенденция - разделение функций разработки/проектирования автомобилей и их производства с окончательным закреплением приоритета за первой из перечисленных двух функций. В будущем автомобильные концерны будут разрабатывать только конструкции новых моделей автомобилей для последующей продажи прав на их производство с использованием методов поэлементной сборки сторонними организациями.

Тем самым не машина будет товаром, а информация об особенностях его конструкции, что полностью должно соответствовать модели новой экономической формации, где единственным предметом обмена станет информация.

Рассмотрим проблемы и перспективы дальнейшего развития нанотехнологий в машиностроении при изготовлении и восстановлении деталей

Одним из реальных достижений в этом направлении целей может стать ускоренное развитие нанотехнологий на основе накопленного научно-технического задела в этой области и внедрение их в технологический процесс производства.

Развитие направлений науки, техники и технологий, связанных с созданием, исследованиями и использованием объектов с наноразмерными элементами, уже в ближайшие годы приведет к кардинальным изменениям во многих сферах деятельности - в том числе и в машиностроении.

Развитие технологий в машиностроении Украины может быть реализовано путем

создания специальных творческих коллективов, которые имеют соответствующий кадровый потенциал, оборудование для нанесения покрытий (кристаллических и аморфных), а также модифицирования нано- и дисперсными добавками упрочняющих и восстановительных покрытий.

### **Цель исследований**

Целью данной работы явилось обобщение имеющихся в литературе не многочисленной информации по применению нанотехнологий в машиностроении.

### **Методический подход к исследованиям**

Как показал опыт Харьковского национального технического университета сельского хозяйства имени Петра Василенко, такой творческий коллектив включает академические институты Харькова, ВУЗы и ведущие машиностроительные предприятия, ГП «Завод имени В.А. Малышева» и АО «ХТЗ».

Работы в области машиностроения проводятся по двум направлениям [10- 14].

- нанесение упрочняющих нано- покрытий на режущий инструмент, использующийся в машинах и оборудовании, в том числе при переработке продукции (ножи для дробления бурака на сахарных предприятиях, в кондитерском производств при дроблении орехов, а также упаковке конфет в коробки, в комбайнах для дробления половы при уборке урожая), поршневых колец, деталей топливной аппаратуры машин, покрытий на приборах, используемых в электронике.

- нанесение восстановительных и упрочняющих покрытий на валы, детали сопряжений путем их модифицирования нано- и дисперсными присадками алмазов и вторичной шихтой от утилизации боеприпасов.

По этим двум направлениям разработок получено 32 патента на изобретения и опубликовано более 50 статей, в том числе, только в 2018-2019 г.г. 9 в НБД Scopus [10-14].

Обобщая данные выполненных исследований и внедрения разработок следует отметить, что в каждом конкретном случае было необходимым разрабатывать параметры обработок с учетом толщины упрочняемого материала и изделия, его химического состава, условий эксплуатации.

### **Результаты исследований**

При нанесении покрытий для приборов электроники важным являлось обеспечить переход пленочного нанопокртия с аморфной структуры в кристаллическое состояние и обеспечением необходимых магнитных свойств. Для этого исследовали ступенчатую обработку – отжиг с последующей ионной бомбардировкой гелием. Такой способ получения покрытий оказался эффективным для приборов, регулирующих сушку зерна.

Упрочнение режущего инструмента в перерабатывающем производстве нанопокртиями при послойном их нанесении до 3,6 мкм обеспечило повышение их износостойкости в 3-210 раз в зависимости от условий среды эксплуатации материала покрытия и состояния упрочняемой поверхности изделия.

Применение многослойного нанопокртия для упрочнения поршневых колец из серого чугуна существенно повысило их качество, исключив формирование таких дефектов при эксплуатации как схватывание с гильзовым материалом и формированием неровностей на поверхности трения, что увеличивало их износостойкость.

Относительно второго направления проводимых исследований по нанотехнологиям следует отметить, что в области машиностроения, а также ремонта машин они могут быть отнесены к новым достижениям в науке, поскольку на первом этапе их использования применили стандартно выпускаемые порошки алмазов различных фракций. Затем научно обосновано использовали вторичное сырье от утилизации боеприпасов после специально проведенной обработки, которая по фракционному составу алмазов не отличалась.

В этом случае модифицирования такими присадками решили две важнейшие проблемы: способ получения такой шихты и обеспечение равномерного ее ввода в упрочняющее покрытие.

Такая модифицирующая шихта оказалась очень эффективной и при заварке дефектов в сером чугуна. Ее ввод в определенном количестве обеспечивает снижение температуры жидкой ванны до плавления чугуна и качественный переходной слой при электродуговой наплавке, исключает формирование каких-либо дефектов в зоне восстановления.

На основе изучения состояния культиваторных лап в эксплуатации была предложена новая технология их упрочнения наплавкой. Наибольшая сложность использования такой технологии заключается в том, что толщина ее режущей кромки существенно меньше, чем основы (0,1 и 6 мм соответственно), кроме того, при наплавке по определенной схеме упрочнения, которая существенно отличается для носка и боковых ее зон требовало детального анализа использования представления о характере и интенсивности их износа, а также предотвращения возможности их коробления и сквозного проплавления.

Хорошие результаты в исследованиях были получены при восстановлении валов разного типа и материалов с использованием модифицирующих присадок вторичной шихты при их восстановлении наплавкой.

Использование нанотехнологий оказалось целесообразным и при введении присадок вторичной шихты в пластичную смазку, фиксирующую резьбовые соединения. Исследованиями, выполненными в университете показано 13, 14, что ее ввод стабилизирует работу бурильных труб, например, скважин глубиной в 1 км.

Успех в развитии нанотехнологий в машиностроении существенно отличается от других научных направлений. Это отличие заключается в том, что в каждом случае использование такой технологии упрочнения для конкретных деталей требуется учитывать множество факторов, которые определяют формирование необходимой структуры металла и потребительских свойств, обеспечивающих повышение работоспособности и надежности изделия.

В связи с индивидуальным подходом в каждом конкретном случае эксплуатации с обеспечением потребительских свойств при упрочнении нанопокрытиями и восстановительной технологии работоспособности деталей машиностроения необходимо проведение многоступенчатых научных исследований, без которых использование новейших технологий может сказаться высокозатратным и не эффективным и с точки зрения достижения оптимальной структуры металла и свойств.

Поэтому разработки в университете базируются на детальном изучении нормативно-технической документации, используемой в различных странах, предъявляемых к конкретным изделиям, оценке дефектов, формируемых при их производстве и эксплуатации с установлением основных причин отказов, глубоким анализом отечественной и зарубежной информации о существующих проблемах и способах их решения. При разработке новых технологических процессов по упрочнению рабочих поверхностей деталей является весьма эффективным математическое моделирование и стендовые испытания структурных изменений при

эксплуатации, сопровождаемых деградацией рабочего слоя деталей. Эта проблема должна решаться комплексно, в том числе, и с разработкой новых методик и подходов к таким исследованиям.

Учитывая то, что разработка и применение нанотехнологий требует сложного и многофакторного подхода в исследованиях, является длительным, базируется на глубоких знаниях в области физики, химии, математики, материаловедения и даже металлургии, то такой индивидуальный подход к конкретным деталям машиностроения часто сдерживается большими затратами из-за необходимости в проведении таких многоплановых, всесторонних исследованиях.

Однако, как показал опыт разработок университета, такой подход вызывает особый интерес специалистов и востребован на предприятиях.

### **Выводы**

Выполнен анализ технологий, которые эффективны в машиностроении. Это различные присадки в масло, пластичные смазки, покрытия для уменьшения повреждаемости при трении и снижении склонности к коррозионной повреждаемости, интенсивному износу в сопряжениях, при стендовой обкатке двигателей. Применение таких технологий в машиностроении разрабатываются с учетом физико-химических процессов, обеспечивающих потребительские свойства изделий в эксплуатации.

Непосредственно при изготовлении и восстановлении деталей в машиностроении число разработок весьма ограничено, что связано в отличие от применения гелей, смазок, жидких покрытий (красок, пленок), с более сложным индивидуальным подходом для повышения потребительских свойств в эксплуатации.

В работе приведены информации об основных разработках, выполненных в ХНТУСХ имени Петра Василенка, касающиеся конкретных достижений. К ним относятся два основных направления: применение нанопокровов кристаллических и аморфных, а также использование модифицирования нано- и дисперсными алмазами при получении специально подготовленной шихты от утилизации боеприпасов для модифицирования восстановленных покрытий.

### **Список использованных источников**

1. Головин Ю.И. Введение в нанотехнику. –М.: Машиностроение, 2007. -496с.
2. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. –М.: Физматлит, 2005. -416с.
3. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию. –М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. -134с.
4. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления развития // Под ред. М.К. Роко, Р.С. Уильямс и П. Аливисатоса. –М.: Мир, 2002. -292с.
5. Структура и свойства нанокристаллических материалов. //Под ред. Г.Г. Талуда и Н.Н. Носовой. –Екатеринбург: Изд-во УРО РАН, 1999. -402с.
6. Алферов Ж.И., Асеев А.Л., Гапонов С.В., Копьев П.С., Панов В.И., Полторацкий Э.А., Сибельдин Н.Н., Сурис Р.А. Наноматериалы и нанотехнологии. // Микросистемная техника, 2003. №8. С. 3-13.
7. Патент Российской федерации RU 2519258 C09D 183/04, C08K 3/36, ПОКРЫТИЕ На основе двуокиси кремния для повышенной гидрофильности / ХАГЕР Патрик Дж.(US), ШЛЕХТЕ Джей С.(US), ЙОРКГИТИС Элейн М.(U S), ДЖИНГ Наийонг(US)- №2011113237/04; заявл. 08.10.2009; опубл. 10.06.2014 Бюл.№ 16.

8. Фришберг И. В., Золотухина Л.В., Харламов В.В., Батурина О.К., Панкратов А. А., Кишкопаров Н.В. Восстановление поврежденной поверхности при работе пары трения в присутствии ультрадисперстного порошка медного сплава // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2000. №7. С.21-23.
9. Соболев Д.А. Выбор металлсодержащих присадок для повышения смазочных способностей синтетических масел. // *Трение и смазка в машинах и механизмах*. 2008. №1. С.24-26.
10. Repair Technology of Machinery and Equipment. Lecture course. / Sidashenko O., Tikhonov O., Luzan S., and all. Textbook. – Kharkiv: KhNTUA, 2017. – 340 p.
11. New approaches in study of inhomogeneity of heterogeneous structures metallofiz / Skoblo, T.S., Klochko, O.Yu., Belkin, E.L, Sidashenko A.I. // *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii* 40(2), 2018 p. 255-280.
12. Specific Features of Wear of Oil-Scraper Piston Rings with Tin Coatings in Bench Tests for Friction and Wear/ Skoblo, T.S., Sidashenko, A.I., Satanovskii, Oleinik A.K., Maltsev, T.V. // *Materials Science* 53(4). 2018. p. 501-507.
13. Anti-Corrosion ceramic coatings on the surface of *Nb-Fe-B* Repeling magnets/ A.V. Taran, I.E. Garkusha, V.S. Taran, O.I. Timoshenko, I.O. Misiruk et al. // *Problem of atomic science and technology*. 2019, № 1/ Series: Plasma Physics (25), p. 116-119.
14. Synthesis and characterization of nanocrystalline *ZrN* PVD coatings on AISI 430 stainless steel // A.V. Taran, I.E. Garkusha, V.S. Taran, R.M. Muratov et al. // *Problem of atomic science and technology*. 2019, № 1/ Series: Plasma Physics (25), p. 243-247.

### References

1. Golovin YU.I. Vvedeniye v nanotekhniku. –M.: Mashinostroyeniye, 2007. -496s.
2. Gusev A.I. Nanomaterialy, nanostruktury, nanotekhnologii. –M.: Fizmatlit, 2005. -416s.
3. Kobayasi N. Vvedeniye v nanotekhnologiyu. –M.: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2008. -134s.
4. Nanotekhnologiya v blizhayshe m desyatiletii. Prognoz napravleniya razvitiya // Pod red. M.K. Roko, R.S. Uil'yams i P. Alivisatos. –M.: Mir, 2002. -292s.
5. Struktura i svoystva nanokristallicheskih materialov. //Pod red. G.G. Taluda i N.N. Nosovoy. –Yekaterinburg: Izd-vo URO RAN, 1999. -402s.
6. Alferov ZH.I., Aseyev A.L., Gaponov S.V., Kop'yev P.S., Panov V.I., Poltoratskiy E.A., Sibel'din N.N., Suris R.A. Nanomaterialy i nanotekhnologii. // *Mikrosistemnaya tekhnika*, 2003. №8. S. 3-13.
7. Patent Rossiyskoy federatsii RU 2519258 C09D 183/04, C08K 3/36, POKRYTIYE Na osnove dnuokisi kremniya dlya povyshennoy gidrofil'nosti / KHAGER Patrik Dzh.(US), SHLEKHTE Dzhey S.(US), YORKGITIS Eley n M.(U S), DZHING Naiyong(US)- №2011113237/04; zayavl. 08.10.2009; opubl. 10.06.2014 Byul.№ 16.
8. Frishberg I. V., Zolotukhina L.V., Kharlamov V.V., Baturina O.K., Pankratov A. A., Kishkoparov N.V. Vosstanovleniye povrezhdennoy poverkhnosti pri rabote pary treniya v prisutstvii ul'tradisperstnogo poroshka mednogo splava // *Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov*. 2000. №7. S.21-23.
9. Sobol' D.A. Vybor metallso derzhashchikh prisadok dlya povysheniya smazochnykh sposobnostey sinteticheskikh masel. // *Treniye i smazka v mashinakh i mekhanizmax*. 2008. №1. S.24-26.
10. Sidashenko O. Repair Technology of Machinery and Equipment. Lecture course. / Sidashenko O., Tikhonov O., Luzan S., and al. Textbook. – Kharkiv: KhNTUA, 2017. – 340 p.

11. New approaches in study of inhomogeneity of heterogeneous structures metallofiz / Skoblo, T.S., Klochko, O.Yu., Belkin, E.L, Sidashenko A.I. // *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii* 40(2), 2018 p. 255-280.
12. Specific Features of Wear of Oil-Scraper Piston Rings with Tin Coatings in Bench Tests for Friction and Wear/ Skoblo, T.S., Sidashenko, A.I., Satanovskii, Oleinik A.K., Maltsev, T.V. // *Materials Science* 53(4). 2018. p. 501-507.
13. Anti-Corrosion ceramic coatings on the surface of *Nb-Fe-B* Repeling magnets/ A.V. Taran, I.E. Garkusha, V.S. Taran, O.I. Timoshenko, I.O. Misiruk et al. // *Problem of atomic science and technology*. 2019, № 1/ Series: Plasma Physics (25), p. 116-119.
14. Synthesis and characterization of nanocrystalline *ZrN* PVD coatings on AISI 430 stainless steel // A.V. Taran, I.E. Garkusha, V.S. Taran, R.M. Muratov et al. // *Problem of atomic science and technology*. 2019, № 1/ Series: Plasma Physics (25), p. 243-247.