

УДК 621.793

НОВЫЕ РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ

*Витязь П.А., академик НАН Беларуси, д.т.н., Президиум НАН Беларуси,
Жорник В.И., д.т.н.,*

*Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь*

Современные тенденции развития техники включают создание энергонасыщенных, высокопроизводительных, экономичных машин, что требует разработки новых высокопрочных, износ- и коррозионно-стойких легких машиностроительных материалов. Возможности традиционных методов повышения свойств материалов, обеспечивающих формирование структуры с размерами элементов в микронном диапазоне, практически исчерпаны. Одним из перспективных направлений создания современных машиностроительных материалов с улучшенными свойствами является целенаправленное формирование в них нанокристаллической структуры. В этой связи в настоящее время на первый план должны выходить технологические приемы получения и обработки материалов, обеспечивающие формирование в них нанофазной или нанокомпозиционной структуры. Формирование нанофазной структуры в материале может осуществляться за счет процессов контролируемой кристаллизации из жидкого состояния при быстром охлаждении расплава, за счет управляемого перехода из аморфного в нанокристаллическое состояние при термодформационном воздействии на материал, а также в процессе интенсивной пластической деформации крупнозернистого материала. Получение нанокомпозиционных материалов или покрытий возможно за счет синтеза наноразмерных упрочняющих фаз, например, при ионно-лучевой обработке поверхности или путем введения наноразмерных компонентов различной природы (оксиды, карбиды, бориды, углеродные частицы) в расплав, исходную порошковую шихту, электролит и т.д. на определенной стадии технологического процесса. Однако реализация указанных методов на практике вызывает определенные технологические сложности, связанные с предотвращением агрегирования наноразмерных компонентов и необходимостью обеспечения их равномерного распределения по объему модифицируемого материала или покрытия [1, 2].

Задачи, стоящие в настоящее время перед учеными и специалистами, работающими в области материаловедения для машиностроения, заключаются в создании высокопроизводительных, экономичных, устойчивых технологических процессов, легко адаптируемых к условиям промышленного производства. В рамках реализации программы в области CALS-технологий, направленной на комплексное решение проблемы достижения конкурентоспособного на мировом рынке уровня отечественной продукции за счет разработки современных информационных технологий поддержания жизненного цикла продукции на основе оптимизации технических характеристик изделий и применения современных методов конструкторско-технологической подготовки производства, должен разрабатываться и осваиваться в производстве широкий спектр конструкционных, триботехнических, смазочных материалов с высоким уровнем потребительских свойств. Решение подобного рода задач возможно через создание материалов с наноразмерной структурой с применением различных технологических приемов: равноканально-углового прессования, механохимического легирования, модифицирования металлических материалов, полимеров, смазок наноразмерными добавками и др.

Суть метода равноканального углового прессования (РКУ-прессования) заключается в холодном деформировании металла в каналах, пересекающихся под определенным углом. При этом за счет измельчения зерна до субмикронного уровня под действием интенсивных напряжений и деформаций сдвига в объеме обрабатываемого материала значительно возрастают его твердость (в 3-5 раз) и предел текучести (в 2-4 раза) [3].

Существенный прогресс в области производства дисперсно-упрочненных сплавов связан с разработкой метода механического легирования, заключающегося в интенсивном смешивании порошков основы и упрочняющей фазы в специальных энергонапряженных мельницах. Наиболее часто для этой цели применяются вибромельницы или атриторы, в качестве рабочих тел используют стальные или твердосплавные шары [4]. Реакционное механическое легирование обеспечивает однородное распределение компонентов в полученном продукте. Комплексно-легированные материалы сочетают зернограничное, дисперсное и дисперсионное упрочнение. Основная роль термодинамически стабильных фаз заключается в стабилизации границ зерен и субзерен, что обеспечивает высокую прочность как при низких, так и при высоких температурах. Разработанные научные основы процессов механического легирования реализованы в технологии и оборудовании для промышленного производства сплавов на основе алюминия и меди, упрочненных частицами оксидов и нитридов размером до 20 нм, а также интерметаллидов и карбидов размером до 100 нм. Могилевское предприятие «Композит» производит, например, электроды на основе сложных металлооксидных медных сплавов для контактной сварки в объеме более 50 т в год. Срок службы таких электродов в 2,5-3 раза превышает срок службы стандартных электродов [4].

Развитие нового направления по созданию и применению наноструктурных материалов в Беларуси прежде всего связано с организацией детонационного синтеза наноалмазов, производство которых в промышленных масштабах освоено на ГНПО ПМ НАН Беларуси и НП ЗАО «Синта» в виде нескольких модификаций ультрадисперсных алмазов (УДА), различающихся фазовым составом, степенью очистки, величиной и знаком заряда поверхности. Успешное освоение мощностей по выпуску наноалмазов позволило перейти от лабораторных опытов к промышленным технологиям применения этого наноматериала для

получения конструкционных, триботехнических, инструментальных материалов, которые могут найти широкое применение в ключевых для республики отраслях, какими являются машиностроение, энергетика, транспорт, электроника, производство товаров народного потребления [2].

Разработан поликристаллический сверхтвёрдый композиционный материал (ПСТКМ) на основе микро- и наноразмерных порошков кубического нитрида бора (КНБ) и алмаза, предназначенный для изготовления режущего лезвийного инструмента по обработке закаленных сталей и отбеленного чугуна (рис. 1). Результаты предварительных испытаний показали, что стойкость при точении закаленной стали ШХ15 у разработанного материала в 1,5 раза выше, чем у киборита и в 2 раза выше, чем у композита 05.

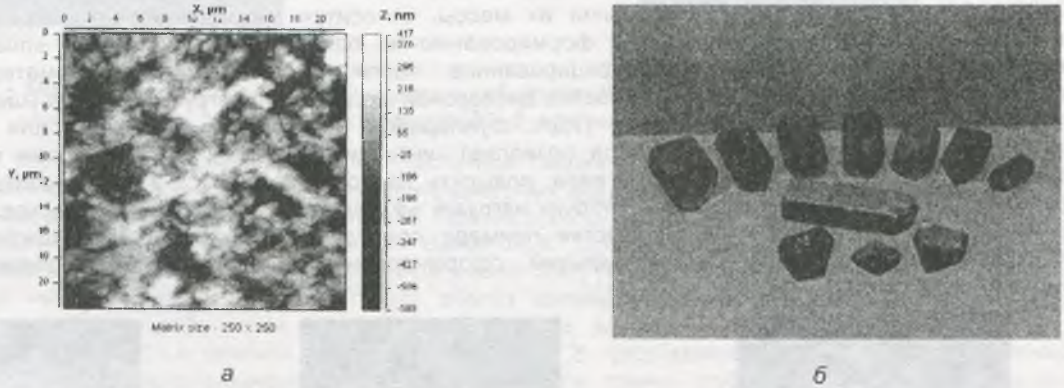


Рисунок 1 – Структура ПСТКМ на основе КНБ и наноалмаза (а) и режцовые вставки из полученного материала для лезвийной обработки чугуна и стали (б)

Перспективным направлением повышения свойств материалов и покрытий триботехнического назначения является их модифицирование наноразмерными алмазно-графитовыми частицами детонационного синтеза. При электрохимическом нанесении покрытий введенные в электролит частицы наноалмаза, соосаждаясь вместе с ионами металла на поверхность детали, выступают в качестве дополнительных центров кристаллизации (рис. 2, а, б)

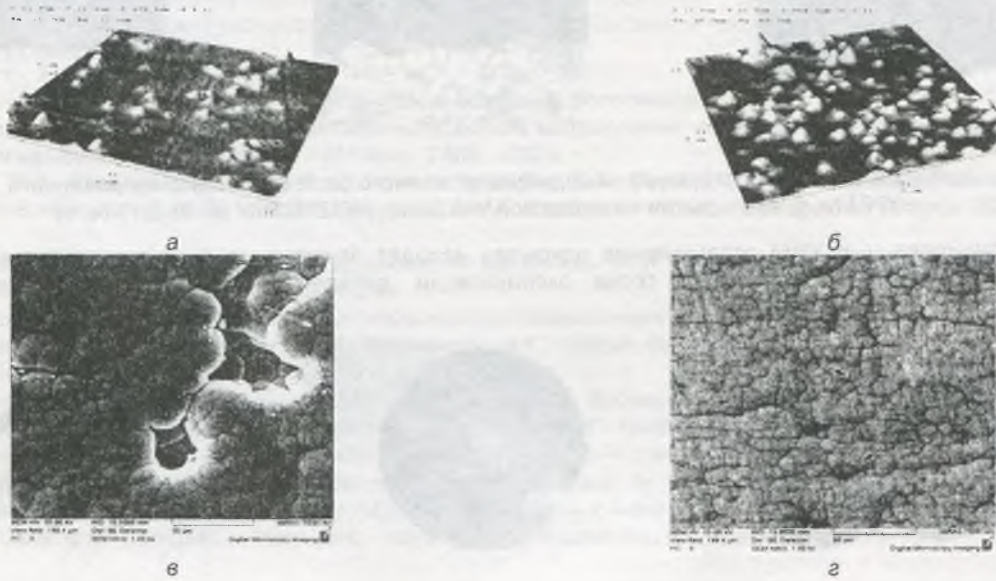


Рисунок 2 – Топография поверхности осадка хрома, полученного в электролитах с различным содержанием УДА (а, в – $C_a = 0$; б, г – $C_a = 5,1$ г/л) через 90 с (а, б) и 3600 с (в, г)

Рост образовавшихся зародышей происходит в нормальном и латеральном направлениях как по механизму присоединения к ним новых атомов осаждаемого металла и достраивания первично образовавшихся атомно-гладких плоскостей (слоистый рост), так и путем повсеместного присоединения к ним новых атомов на «многоуровневых» поверхностях. Агрегирование кристаллов металла происходит с образованием микросферолитов (зерен), состоящих из конгломератов мелких разориентированных кристаллов. В дальнейшем, срастание микросферолитов приводит к формированию сплошного электрохимического покрытия. При этом в случае осаждения, например, из базового хромового электролита образующееся покрытие характеризуется наличием больших пор и несплошностей (размером до 5 мкм) (рис. 2, в), в то время как модифицированное частицами наноалмазов хромовое покрытие отличается повышенной плотностью (рис. 2, г). При модифицировании хромового покрытия регистрируется увеличение его микротвердости с $H_V=7000$ до $H_V=12500$ МПа и улучшение его триботехнических свойств. В частности, для

условий трения без смазки коэффициент трения снижается в 1,8–2,9 раза, а интенсивность изнашивания – в 6–10 раз, а для условий граничного трения – на 20–65 % и в 1,6–1,9 раза соответственно. В настоящее время технология хромалмазного хромирования прошла успешную апробацию на НП ЗАО «Синта» для повышения качества металло- и деревообрабатывающего инструмента (фрезы, метчики, зенкеры, развертки, протяжки и др. – увеличение стойкости в 2–8 раз), элементов узлов трения машин и механизмов (поршни и цилиндры ДВС, запорная и регулирующая арматура гидро- и пневмосистем и др. – увеличение стойкости в 2–3 раза), технологической оснастки (пресс-формы для литья пластмассовых и резиновых изделий, фильеры литьевых машин и др. – увеличение стойкости в 3–5 раз).

К перспективным технологиям, обеспечивающим повышение износостойкости конструкций различного назначения при одновременном снижении их массы, относится микродуговое оксидирование (МДО) в щелочных электролитах, приводящее к формированию на поверхностях изделий из сплавов алюминия керамических покрытий (КП). Модифицированное частицами углеродных наноматериалов (УНМ) керамическое покрытие характеризуется более дисперсной и однородной структурой с меньшей пористостью. Введение углеродных наноматериалов (УДА, фуллеренов) в базовый электролит для микродугового оксидирования алюминия и его сплавов позволяет интенсифицировать рост покрытия в 1,8–2,5 раза, повысить его микротвердость в 1,5–1,8 раза, повысить износостойкости в 2–9 раз, снизить коэффициент трения до 8 раз, расширить диапазон рабочих нагрузок не менее 2,5 раз, увеличить ресурс деталей узлов трения в 2–10 раз. На рис. 3 в качестве примера приведены микроструктуры модифицированных и немодифицированных керамических покрытий, сформированных на алюминиевых сплавах различного химического состава.

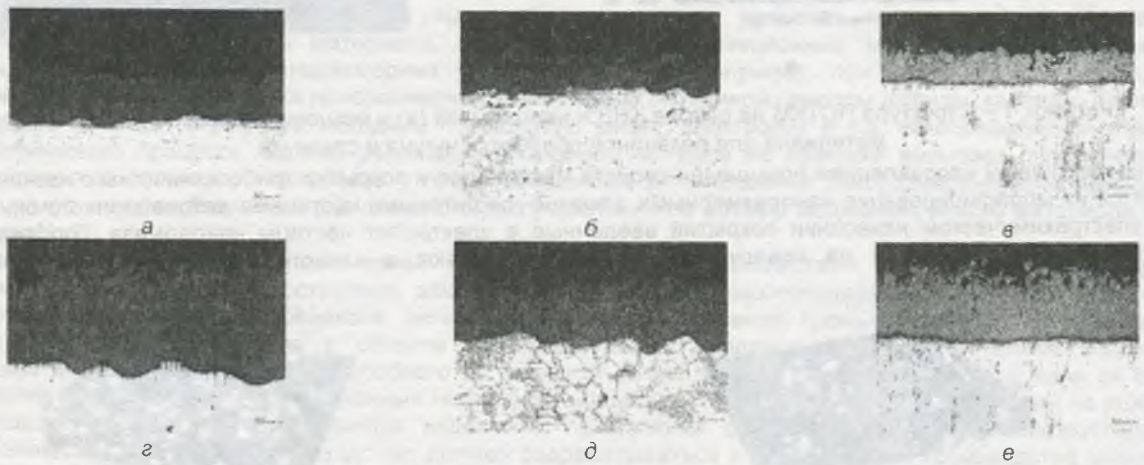


Рисунок 3 – Микроструктура немодифицированного (а, б, в) и модифицированного УНМ (г, д, е) покрытия на сплавах АМг6 (а, г), АК12М2МгН (б, д), Д16 (в, е)

Модифицированные УНМ керамические покрытия находят применение в различных отраслях техники (рис. 4), обеспечивая повышение срока эксплуатации деталей в 1,5–3,0 раза по сравнению с немодифицированными покрытиями.

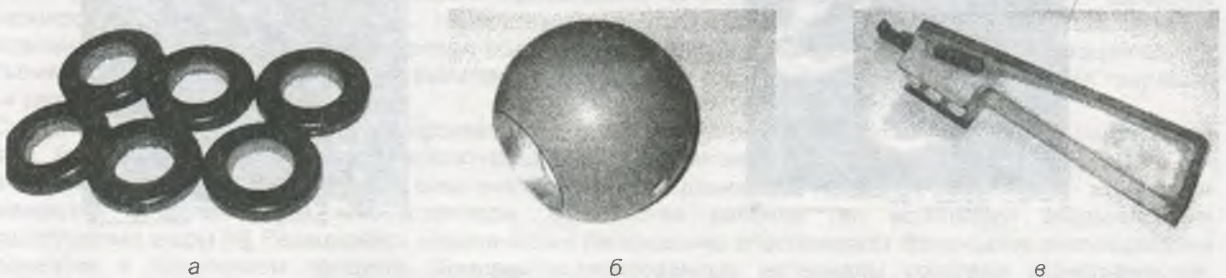


Рисунок 4 – Детали с модифицированным УНМ керамическим покрытием:
а – запорные кольца (ОАО "Полоцк-Стекловолокно"); б – шар запорной газовой арматуры (РУП "Белгазтехника"); в – деталь вакуум-формы (ЗАО "Атлант")

Предложен новый технологический подход к получения композиционных пластичных смазочных материалов (ПСМ), модифицированных наноалмазами, заключающийся в использовании частиц УДА в качестве дополнительных центров кристаллизации дисперсной фазы ПСМ [5]. Реализация этого подхода осуществляется путем введения частиц УДА в дисперсионную среду (масло) до начала процесса структурообразования дисперсной фазы (ДФ), при этом наноразмерные частицы добавки покрываются оболочкой структурированных солей высокомолекулярных кислот, и дальнейший рост волокон ДФ идет от поверхности частиц добавки. Равномерно распределенные по объему ПСМ частицы УДА имплантируются в волокна ДФ, создавая разветвленный каркас с зафиксированными в нем частицами модификатора, отличающийся повышенными прочностными и маслоудерживающими свойствами (рис. 5). Это предопределяет улучшенную в 2–5 раз коллоидную стабильность, повышенные в 1,6–3,3 раза нагрузочные характеристики и увеличенный в 1,5–2,0 раза ресурс модифицированной смазочной композиции.

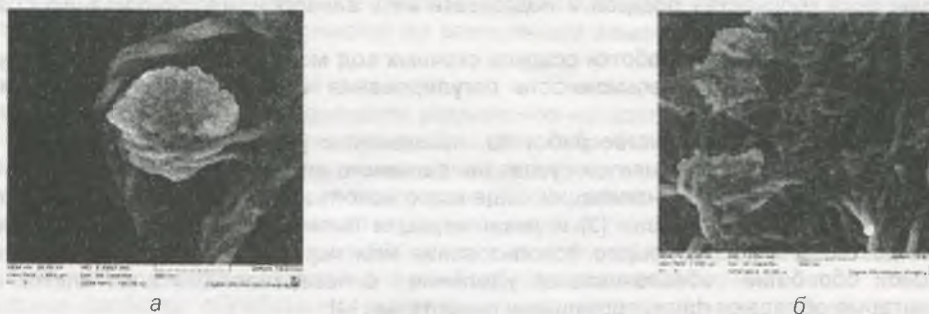


Рисунок 5 – Микроструктура ДФ литевой смазки с добавками УДА при различных схемах введения наночастиц: а – после кристаллизации ДФ, б – до начала кристаллизации ДФ

Разработан состав комплексной литевой пластичной смазки для тяжело нагруженных узлов трения, который содержит многофункциональный пакет наноразмерных добавок, включающий дисульфид молибдена (противозадирная добавка), гидросиликаты никеля (противоизносная добавка), алмазно-графитовую шихту (структурирующая и приработочная добавка). Введенные добавки повышают уровень предельных эксплуатационных нагрузок (нагрузка сваривания не менее 5000 Н) и расширяют температурный диапазон применения (от -40 до $+180$ °С). Сравнительный анализ физических и триботехнических характеристик показал преимущество разработанной смазки над наиболее распространенной в СНГ универсальной пластичной смазкой Литол-24 и смазкой марки Shell Retinax EP 2, предназначенной для тяжело нагруженных узлов трения [6]. Смазка предназначена 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, теплоэнергетическое оборудование, вентиляторы печей, системы приточно-вытяжной вентиляции и др.). Ее применение увеличивает ресурс машин и механизмов, снижает затраты на их обслуживание и обеспечивает экономию энергоресурсов. Промышленное производство разработанной смазки освоено ОДО «Спецсмазки», входящем с Инновационную ассоциацию «Республиканский центр трансфера технологий».

Анализ научно-технических разработок в области материаловедения показывает, что применение новых технологий получения наноструктурированных материалов позволяет существенно снизить затраты материальных и энергетических ресурсов на производство промышленной продукции, повысить ее качество и конкурентоспособность.

Список использованных источников

1. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследования. / Под ред. М.К. Роко, Р.С. Уильямса и П. Аливисатоса. – М.: Мир, 2002. – 292 с.
2. Витязь П.А., Жорник В.И., Кукареко В.А., А.И. Комаров, В.Т. Сенють Модифицирование материалов и покрытий наноразмерными алмазосодержащими добавками. – Минск: Беларуская навука, 2011. – 527 с.
3. Процессы пластического структурообразования металлов / В.М. Сегал, В.И. Резников, В.И. Копылов и др. Минск: наука и техника, 1994. – 232 с.
4. Трибохимические технологии функциональных композиционных материалов. Ч. 2. Технология и опыт применения / С.А. Авдейчик, В.И. Кравченко, Ф.Г. Ловшенко и др. / под ред. В.А. Струка, Ф.Г. Ловшенко. – Гродно: ГГАУ, 2008. – 399 с.
5. Жорник В.И., Ивахник А.В. Эволюция структуры дисперсной фазы пластичных смазок с наноразмерными углеродными добавками в процессе трибовзаимодействия // Наночастицы в конденсированных средах: сб. науч. ст. – Минск: БГУ, 2008. – с. 66-71.
6. Zhornik, V.I. Tribomechanical Modification of Friction Surface by Running-In Lubricants with Nano-Sized Diamonds / V.I. Zhornik, V.A. Kukareko, M.A. Belotserkovsky // Advances in Mechanics Research. Volume 1 / Editor: Jeremy M. Campbell. – New York: Nova Science Publishers, Inc., 2011. – P. 1–78.

УДК 628.335.2

ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

Головнев И.Э., инж.,

УП «Витебскводоканал», г. Витебск, Республика Беларусь,

В.Н. Марцуль, доц.,

УО «Белорусский государственный технологический университет»,

г. Минск, Республика Беларусь

Ультразвуковая обработка является эффективным способом воздействия на жидкие среды различного состава с целью интенсификации процессов диспергирования, фазового разделения, химических превращений. В технологии очистки сточных вод ультразвук используется для обеззараживания сточных вод