

УДК 621.316.3

**ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ
ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОЕНИИ**

Шевченко В.В., доц., канд. техн. наук, доцент кафедры, Национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков, Украина,
e-mail: zurbagan@mail.ru, тел. +38-050-407-84-54

Потоцкий Д.В., магистр, ассистент кафедры, Национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков, Украина,
e-mail: [magnoi@mail.ru](mailto:magnoj@mail.ru), тел. +38-063-872-20-83

Рассматриваются возможности использования нанотехнологий в крупном энергетическом электромашиностроении, в частности, в турбогенераторостроении, с целью снижения вероятности отказов турбогенераторов ТЭС и АЭС и повышения их эксплуатационной надежности.

Ключевые слова: нанотехнология, турбогенератор, наноалмаз, наноалмазное хромирование

**THE PROSPECTS EVALUATION USING NANOTECHNOLOGY
IN THE ENERGY ELECTRICAL MACHINERY**

Shevchenko V.V., ass. prof., cand. engin. science, professor of department, National Technical University «KhPI», Kharkov, Ukraine,
e-mail: zurbagan@mail.ru, phone +38-050-407-84-54

Potocki A.I., M.Sc., assistant of department, National Technical University «KhPI», Kharkov, Ukraine
e-mail: [magnoi@mail.ru](mailto:magnoj@mail.ru), тел. +38-063-872-20-83

The possibility using nanotechnologies in the large electrical energy are discusses, in particular, in the turbogenerators for the failure probability of turbogenerators thermal and nuclear power plants and improve their operational reliability.

Keywords: nanotechnology, turbogenerator, nano-diamond, nano-diamond's chrome plating

Введение. Общеизвестным является факт, что технико - экономический уровень развития государства, его мировой технический рейтинг

определяется уровнем развития промышленных технологий. Талантливые разработки новой техники ничего не стоят, если нет соответственной технологии, которая позволит воплотить проекты в готовые изделия. Необходимы постоянные исследования, новые разработки в вопросах создания технологического оборудования, технологических линий. Поэтому внедрение новых технологий во все технические отрасли перспективно и актуально. Особенно это важно для основополагающих отраслей и, в первую очередь, для электроэнергетики, которая определяет энергетическую независимость любого государства.

Центрами электроэнергетических комплексов, электростанций всех типов (ТЭС, АЭС, ГЭС, ГАЭС и т.д.) являются турбогенераторы. В мире ведутся непрерывные работы по их совершенствованию: повышению мощности в единичном исполнении, улучшению систем охлаждения, повышению надежности, как самого генератора, так и отдельных его элементов, модернизации с учетом современных достижений в области создания новых сталей, изоляционных и проводниковых материалов, выбора конструктивных элементов и расчетных решений, [1,2]. Направления исследований, выбор материалов и технологий изготовления турбогенераторов необходимо вести с учетом статистических данных отказов и поломок.

Так, например, на основании статистических исследований крупных турбогенераторов можно сделать вывод о том, что наиболее уязвимыми узлами являются: корпусная изоляция, сердечник статора, бандажные кольца статора и ротора, вкладыши опорных и уплотнительных подшипников и системы их смазки, системы водо- и газоохлаждения.

Для совершенствования этих узлов, повышения их надежности и собственно турбогенератора целесообразно применять новые технологии, в частности, возможности нанотехнологических процессов.

Результаты исследований. В настоящее время нанотехнология является одним из приоритетных направлений развития мировой науки. Сло-

жило устойчивое мнение, что также как электричество и компьютеры, нанотехнологии повысят уровень жизни человека в самых различных направлениях. Нанотехнологии позволяют производить уникальные материалы, процессоры, микроскопы, роботов, конструировать и изменять даже биологические системы человека и многое другое.

Нанотехнологии - это собирательный термин для теоретических и практических научных разработок в масштабах 10^{-9} м, где размерные эффекты открывают доступ к принципиально новым открытиям и методикам. В нанометровом масштабе свойства объектов отличаются, как от характеристик отдельных атомов и молекул, так и от параметров, так называемого, «макрорвещества» - готового изделия (в нашем случае, турбогенератора). Рассматривая нанообъекты, необходимо учитывать законы квантовой механики и силы взаимодействия отдельных атомов и молекул, т.е. учитывать эффекты, которые, как принято считать, не играют существенной роли в макромире. Важным является то, что на практике это позволяет создавать вещества с удивительной механической прочностью, тепло- и электропроводностью. С учетом общей тенденции минимизации устройств и инструментов, нанотехнологии являются закономерным этапом развития науки для практического использования в технике. Государственные программы разных стран способствуют популяризации данного направления и развитию инвестиционных проектов в этой области.

Исторически начало развития нанотехнологий относят к 1959 г., когда на ежегодной встрече Американского Физического Общества выступил Р. Фейнман с сообщением о возможности и необходимости практических исследований внедрения понятий квантовой физики для понимания процессов и создания нового в макромире. Термин «нанотехнология» появился только в 1974 г., а с 1980-х годов началось бурное развитие отрасли, благодаря разработке Г. Биннигом и Г. Рорером принципов Сканирующей

Туннельной Микроскопии (СТМ). В 1986 году за свои исследования они были удостоены Нобелевской премии по физике, [3,6].

Нанотехнологии нельзя однозначно отнести к той или иной отрасли, скорее это сочетание фундаментальных и прикладных аспектов в физике, химии и биологии. На сегодняшний день, не смотря на то, что в нанотехнологиях только начаты исследования, уже предложена масса практических применений сделанных открытий. В Российской Федерации, в Украине, в США и Великобритании нанотехнологии с начала 2000-х годов являются одной из приоритетных областей развития науки. Так, например, в США действует программа “Национальная нанотехнологическая инициатива” (в 2001 г. ее бюджет составлял 485 млн. долл.), в эти же годы Евро-союз принял программу развития науки, в которой нанотехнологии занимают главенствующие позиции.

Весьма перспективными с точки зрения практического использования являются аморфные сплавы и углеродные нанотрубки. Вместе с уменьшением размеров падает и характерное время протекания разнообразных процессов в системе, т.е. возрастает ее потенциальное быстроедействие.

За последние годы разработаны сотни наноструктурированных продуктов конструкционного и функционального назначения и реализованы десятки способов их получения и серийного производства. Можно выделить несколько основных областей их применения:

- высокопрочные нанокристаллические и аморфные материалы;
- тонкопленочные и гетероструктурные компоненты микроэлектроники и оптоэлектроники следующего поколения;
- магнитомягкие и магнитотвердые материалы;
- нанопористые материалы для химической и нефтехимической промышленности;
- микроэлектромеханические устройства;
- негорючие нанокомпозиты на полимерной основе;

- топливные элементы, электрические аккумуляторы и другие преобразователи энергии.

Среди разработок для электротехнических устройств интересны аморфные ленты - структурно неупорядоченные сплавы, которые используются для создания сердечников электромагнитных устройств, в частности, трансформаторов. Такие трансформаторы работают на частотах от 400 Гц и выше, что существенно снижает габариты и вес устройств. Применение аморфных лент для создания магнитопровода подвижных частей электрических двигателей в настоящее время остается нерешенной задачей. Переход к применению аморфных лент для магнитопровода электродвигателей требует изменений в этой конструкции при работе на промышленной частоте 50 Гц.

Аморфные ленты и их сплавы в несколько раз прочнее обычной электротехнической стали, поэтому надо искать новые технологии механической обработки магнитопровода. Такие магнитопроводы перспективны, так как для создания магнитной индукции в 1,2 Тл требуется 80 мА/см при относительной магнитной проницаемости $\mu_0 = 60\,000$, что во много раз превосходит электротехническую сталь. Кроме того, в углеродных нанотрубках электроны перемещаются без столкновений и выделения тепла, их электропроводность выше электропроводности медных проводов в тысячу раз. Кроме того, композиты на основе нанотрубок в 2 раза легче алюминия и в 100 раз прочнее стали. Применение нанотрубок позволяет снизить массогабаритные показатели обмоток и электрических машин в целом.

Также при создании новых материалов, изготовленных по нанотехнологиям, следует рассматривать вопросы возможности их внедрения в некоторые узлы турбогенераторов и другие электрические машины. Например, одним из таких материалов является наноалмаз, полученный в процессе синтеза, в основу которого положена детонация взрывчатых веществ с отрицательным кислородным балансом (обычно смеси тротил-гексогена,

взятых в определенных пропорциях) и дальнейшая химическая очистка.

Первые наноалмазы были синтезированы в СССР, в настоящее время главным производителем является ФГУП СКТБ «Технолог» (г. Санкт-Петербург, Россия). Типичные наноалмазы имеют округлую форму с диаметром $3\div 6$ нм. Для лучшего понимания масштабов изделия отметим, что сухой порошок наноалмазов имеет экспериментальную удельную поверхность площадью около $3 \cdot 10^5$ м²/кг. Эти детонационные наноалмазы обладают рядом необычных свойств и применяются для улучшения качества:

- электрохимических покрытий поверхностей металлов: хрома, никеля, цинка, меди, олова, золота, платины, серебра;
- оксидирования (анодирования) алюминия и его сплавов;
- полирования микроабразивными и полировальными составами;
- смазочных масел, смазочно-охлаждающих жидкостей (антифрикционные противоизносные смазочные композиции) и; абразивных инструментов;
- полимеров (пленок, резин, пластмасс) и мембран;
- и т.д.

Целесообразно такой материал использовать в системах водоохлаждения и маслоснабжения мощных турбогенераторов, например, ТГВ-235 и ТГВ-325 мощностью 235 МВт и 325 МВт, соответственно. Обмотка статора этих турбогенераторов охлаждается дистиллированной водой. Для обеспечения очистки дистиллятора от механических примесей, в турбогенераторе устанавливается 3 типа фильтров: механической грубой очистки, механической тонкой очистки и ионообменный. Внедрение наноалмазов в качестве адсорбента в систему ионообменного фильтра улучшит качество дистиллята, а, следовательно, и охлаждение обмотки.

Добавка ультрадисперсных алмазов позволит значительно улучшить защитные свойства смазочных материалов, увеличить их эффективный срок службы, будет способствовать восстановлению и защите от износа

узлов трения. Целесообразно применять наноматериалы в качестве присадки к маслу в подшипниках скольжения турбогенератора. При этом ожидается:

- увеличение межремонтного ресурса более чем в 2 раза (отдельных узлов в 5-7 раз);

- восстановление и защита механизмов, которые находятся в предремонтном состоянии, и продление срока их эксплуатации без капитального ремонта;

- увеличение срока службы масел и смазок, более чем в 2 раза, и снижение их расхода.

Следующим направлением возможного применения наноматериалов является создание упрочняющих покрытий, которые имели бы более высокую износостойкость в условиях абразивного износа и в узлах трения, сравнительно низкий коэффициент трения, высокую коррозионную стойкость, технологичность и сравнительно невысокую стоимость.

Для решения самых различных технических задач широкое распространение получило твердое хромирование. Технология наноалмазного хромирования позволяет в значительной степени улучшить физико-механические показатели твердого хромирования, [4,5]. Износостойкость наноалмазного хромирования, по сравнению с твердым хромированием, увеличивается в 2÷5 раз, а коэффициент трения уменьшается на 15÷25 %. Благодаря своей более безпористой структуре, наноалмазное хромирование также имеет более высокую коррозионную стойкость. Таким образом, предлагаемые упрочняющие покрытия имеют себестоимость на 10-15% выше твердого хромирования, но, обладая улучшенными свойствами, могут в два и более раза повысить ресурс работы деталей и узлов, работающих в условиях абразивного и коррозионного износа. Высокая коррозионная стойкость наноалмазного хромирования позволит исключить исполь-

зование в ряде производств нержавеющей сталей и заменить их недорогими и недефицитными металлами.

Анализ литературных источников позволяет заключить, что во всем мире наблюдается высокий интерес к наноалмазам, [2-6], но их внедрению мешает:

- отсутствие стандартов на изготовление и параметры, низкая стабильность их характеристик, зависимость качества от производителей;
- недостаточная отработанность технологий;
- отсутствие опыта работы с наноалмазами.

Выводы. 1) В настоящее время нанотехнология является одним из приоритетных направлений развития мировой науки;

2) для совершенствования узлов турбогенераторов, повышения их надежности целесообразно применять новые технологии, в частности, возможности нанотехнологических процессов;

3) перспективна разработка трансформаторов, электродвигателей с магнитопроводом на основе аморфных лент. Для турбогенераторов наноматериалы следует использовать в системах водоохлаждения, маслоснабжения;

4) внедрение наноалмазов в качестве адсорбента в системе ионообменного фильтра турбогенераторов улучшит качество дистиллята, а, следовательно, и охлаждение обмотки;

5) возможно применение рассматриваемых материалов для наноалмазного хромирования - упрочняющего покрытия с более высокой износостойкостью, низким коэффициентом трения, высокой коррозионной стойкостью, технологичностью и сравнительно невысокой стоимостью. Для решения самых различных технических задач широкое распространение получило твердое хромирование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Шевченко В.В., Лутай С.Н. Системный подход к развитию энергетики Украины // Вестник Кременчугского национального университета им. Михаила Остроградского, № 3/2012 (74). - С. 28 – 32.
2. Нанотехнологии в ближайшем десятилетии. Прогноз направления развития // Под ред. М.К. Роко, и др.: Пер. с англ. - М.: Мир, 2002. - С. 54-63.
3. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. — М.: Физматлит, 2007. — 416 с.
4. Вуль А. Я. Детонационные наноалмазы. Новые вызовы времени и применения // Тезисы докл. второй Международный форум по нанотехнологиям, октябрь 2009.
5. Долматов В.Ю. Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза. Получение, свойства, применение. - С.-Пб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. - 344 с.
6. Vul Ya., Aleksenskiy A. E., Dideykin A. T. Detonation nanodiamonds: technology, properties and applications // Nanosciences and Nanotechnologies / Ed. by V. N. Kharkin, C. Bai, S.-C. Kim. In: Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS). Developed under the Auspices of the UNESCO. — Eolss Publishers, Oxford, UK, 2009.