



Внедрение нанотехнологий на объектах железных дорог



Борис НЕДОРЧУК
Boris L. NEDORCHUK

Валерий ПАШИНИН
Valery A. PASHININ



Недорчук Борис Лаврентьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры вагонов и вагонного хозяйства Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия
Пашинин Валерий Алексеевич – доктор технических наук, профессор кафедры химии и инженерной экологии Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.

Introduction of Nanotechnologies at Railway Facilities

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 75)

В статье рассматривается одно из перспективных направлений получения нанопорошков за счёт измельчения материалов в мельницах различного типа и высокой мощности, а также путём диспергирования сплавов потоком жидкости или газа. Такие нанопорошки могут быть использованы в виде добавок в литейном производстве с целью получения более существенных прочностных характеристик изделий, предназначенных для железнодорожной техники. Основным направлением внедрения нанотехнологий на объектах железнодорожного транспорта является использование нанопорошков для упрочнения сталей, применяемых для производства вагонов, рельсов, колёсных пар и других напряжённых деталей объектов железнодорожного состава.

Ключевые слова: наноматериалы, нанопорошки, нанотехнологии, технические средства железных дорог, вагоны, высокоскоростные магистрали, железнодорожный путь, подвижной состав.

За рубежом и в Российской Федерации идёт ускоренное строительство высокоскоростных магистралей, растёт внимание к созданию высокопрочных элементов металлоконструкций подвижного состава. Высокие скорости передвижения поездов потребовали внедрения новых материалов для инфраструктуры путевого хозяйства, вагоностроения, мостостроения, изготовления рельсов, колёсных пар и других изделий.

Умение находить востребованные материалы – важнейшее условие развития человечества. Поэтому неслучайно разные периоды его истории носят названия по тому материалу, который освоил человек. Двадцатый век часто по праву именуют «веком стали». Двадцать первый век вполне можно считать периодом нанотехнологий и наноматериалов.

1.

За многовековую историю своего развития человек научился создавать и использовать огромное количество различных материалов и веществ. Их уже известно более 20 миллионов. Каждый вид обладает своими уникальными свойствами: тепловыми, ме-

ханическими, электрическими, магнитными и т.п. Часто возможность создания того или иного технического устройства — самолёта, ракеты, локомотива, компьютера — определяется свойствами имеющихся в распоряжении конструкторов исходных материалов. Ориентироваться во всём этом многообразии невозможно без знания закономерностей формирования свойств материалов, их зависимости от химического состава, структуры, термической обработки и прочих особенностей.

В последние годы «Российские железные дороги» являются одним из основных потребителей продукции рынка чёрной металлургии: в ней нуждаются грузовые и пассажирские вагоны, рельсы, рельсовые скрепления, стрелочные переводы, цельнокатаные колёса, оси и осевые заготовки, колёсные пары, стальные запасные и комплектующие части для технических средств железнодорожного транспорта.

По разным оценкам, каждый год железнодорожники закупают на российском рынке около 800 тыс. тонн рельсов и примерно 200 тыс. тонн рельсовых скреплений. При такой ситуации с поставляемой металлопродукцией, идущей как на ремонт подвижного состава, так и на развитие, ремонт и текущее обслуживание железнодорожной путевой инфраструктуры, удельный вес её в общем стоимостном объёме потребляемых материальных ресурсов железных дорог составляет около 30 %.

Учитывая это, а также высокую концентрацию сталеплавильной индустрии, наличие большого количества предприятий, на которые приходится от 53 до 93 % выплавляемой стали и стальных изделий, цели наноинноваций потребуют существенных усилий, чтобы оказать помощь на всех этапах внедрения нанотехнологий по многим из позиций, нуждающихся в модернизации. В частности, сюда относятся механические свойства материалов: твёрдость, прочность, пластичность, упругость и др.

Для упрочнения металла сегодня применяются методы термомеханической обработки стали, поверхностного упрочнения стальных деталей, закалки токами высокой частоты, газопламенной закалки, старения, пластической деформации, обработки стали холодом.

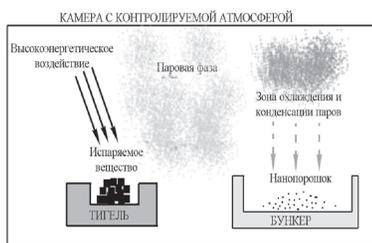


Рис. 1. Получение нанопорошка в камере с контролируемой атмосферой.

Если величина деформации при обработке больше величины пластичности, то материал трескается, ломается. Для получения больших значений деформаций его часто обрабатывают поэтапно, проводя промежуточные отжиги. При нагреве происходит рекристаллизация, после чего пластичность материала восстанавливается, твёрдость уменьшается.

Одним из способов повышения прочностных свойств сталей является их легирование, то есть добавление в металл или сплав в качестве связующих элементов других металлов. За счёт легирования прочность сталей возрастает в 5–10 раз по сравнению с чистым железом, материалу можно придать коррозионную стойкость, жаропрочность и иные повышающие его качество свойства.

Легированные стали дороги, поэтому их выпускают в относительно небольших количествах и применяют там, где требуются особые свойства материала. Легирование подразделяется на поверхностное и объёмное. При поверхностном легирующие элементы наносятся путём высокотемпературного вакуумного распыления или с помощью электролиза на поверхность основного материала. При этом легирующие свойства металла сохраняются, пока не нарушен поверхностный слой.

Объёмное легирование осуществляется в процессе выплавки стали. Для этого нужен довольно большой расход легирующего элемента, но легирующие свойства сохраняются независимо от разрушения поверхностного слоя металла.

Роль легирующих — здесь мы подошли к главному — могут выполнять нанопорошки, приготовленные по специальной технологии. Один из вариантов такой технологии приведён на рис. 1.





Рис. 2. Области применения нанотехнологий [2–4].

2.

Перспективы внедрения нанотехнологий были рассмотрены нами ранее в отдельной статье [1]. Нанотехнологии нашли широкое применение в различных областях науки и техники (рис. 2).

В результате проведённых рядом авторов исследований установлено, что применение в качестве дисперсной фазы композиционных гальванических покрытий высокотвёрдых и износостойких нанопорошков, сферической формы на основе карбида вольфрама, с размером частиц 10–100 нм вместо 1–10 мкм, позволяет повысить износостойкость покрытий деталей машин в среднем на 15–20 % (в зависимости от режима нанесения покрытий и, следовательно, концентрации частиц порошка в полученных покрытиях) [1].

На основе метода нанесения порошка твёрдого сплава на детали машин при их восстановлении и упрочнении развивается технология электроосаждения композиционных гальванических покрытий (КГП). Это покрытия многоцелевого назначения. Суть метода осаждения КГП заключается в том, что вместе с металлом из гальванической ванны на детали попадают различные порошки: оксиды, карбиды, бориды или сульфиды, а также порошки полимеров

и металлов. Включение дисперсных материалов в металлическую матрицу значительно изменяет свойства покрытий, а главное повышает их износостойкость, антифрикционные характеристики, термическую и коррозионную стойкость, что создаёт предпосылки для широкого применения такого рода покрытий в самых разнообразных устройствах.

Примеры реализации технологии осаждения КГП показали, что гальванические покрытия с дисперсной фазой обладают уникальными свойствами и могут быть использованы при решении сложных инновационных задач. Метод отличается такими преимуществами, как сравнительная простота нанесения покрытий непосредственно на детали, относительно низкая себестоимость, возможность автоматизации технологического процесса.

КГП получают различными способами, но наиболее часто с помощью гальванической ванны. В простейшем варианте в ванну заливают электролит, засыпают порошок, перемешивают, устанавливают аноды, закрепляют на катоде деталь; дисперсную фазу поддерживают во взвешенном состоянии или транспортируют к катоду. При пропускании через суспензию электрического тока на детали образуется покрытие.

Влияние легирующих добавок на свойства сталей

Легирующие добавки	Свойства сталей					
	Твёрдость	Пластичность	Теплостойкость	Прокаливаемость	Чувствительность к перегреву	Прочность
Хром	+	—	0	+	+	+
Вольфрам	+	0	+	+	+	+
Никель	—	+	0	+	—	0
Ванадий	+	+	0	+	0	0
Молибден	+	+	+	+	+	0
Кобальт	+	+	0	—	—	+
Титан	+	0	0	0	0	+
Марганец	+	—	0	+	—	+

Влияние легирующих добавок на свойства сталей приведено в таблице 1 [5].

Цена одного килограмма некоторых нанопорошков при массовом производстве приведена на рис. 3 [6].

Одним из масштабных направлений нанотехнологий стали синтез и применение наноразмерных углеродных фуллереноподобных структур, прежде всего нановолокна, нанотрубки, графен и т.д.

3.

Открытие новых аллотропных форм углерода вызвало значительный интерес у исследователей всего мира и, как следствие, рост числа публикаций по наноуглеродным материалам в разных отраслях

В узлах трения машин и механизмов железнодорожного транспорта ныне особенно широко используются антифрикционные материалы с металлической матрицей. Требования к их триботехническим и физико-механическим характеристикам повышаются вследствие увеличения эксплуатационных нагрузок и снижения массы и габаритов механизмов. Улучшение свойств металлических антифрикционных материалов возможно как раз за счёт добавок на основе углеродных наноструктур.

Нанесение на поверхности трения покрытий из материалов, содержащих наноразмерные элементы — несомненно, перспективный вариант снижения трения и износа в узлах железнодорожного транспорта. Современные технологии позволяют наносить покрытия с уникальным сочетанием характеристик, принципиально отличающихся от свойств материалов, полученных традиционными методами. Композиционные покрытия обла-

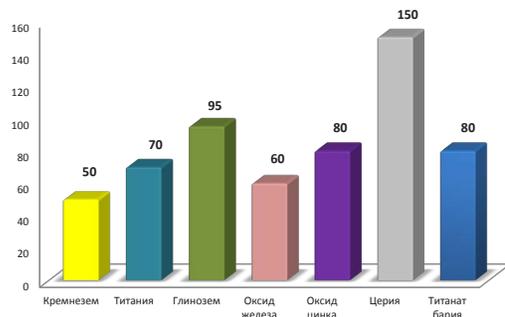


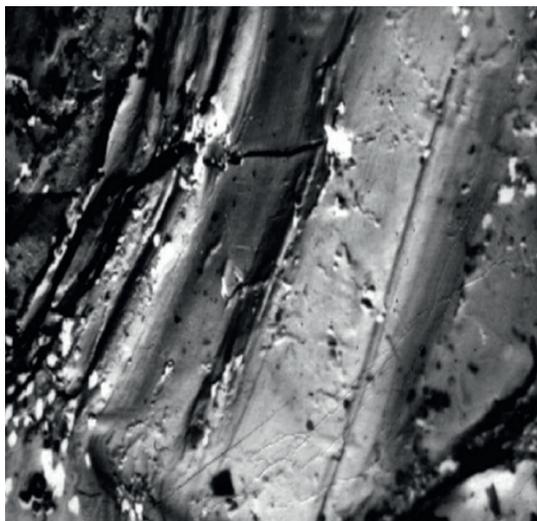
Рис. 3. Цена одного килограмма нанопорошков при массовом производстве, в USD.

дают высокой твёрдостью, коррозионной и износостойкостью. Причём эти свойства, идущие от наличия углеродных наноструктур, определяются в значительной степени именно технологией нанесения защитных слоёв на поверхность деталей.

На дизельных локомотивах Куйбышевской железной дороги были проведены испытания узлов трения машин, при обкатке которых в масло ввели фторированный графит. Испытания показали, что при этом ресурсные характеристики в среднем повышаются до 25 %, что обусловлено улучшением состояния поверхностей триботехнических узлов после обкатки. Картину иллюстрирует рис. 4.

Одной из актуальных проблем электро-транспорта остаётся повышение надёжности и увеличение ресурса работы токосъёмного узла, предназначенного для передачи электроэнергии от контактного провода на электроподвижной состав. Сейчас токосъёмные элементы изготавливаются из меди и её сплавов, алюминиевых сплавов, низкоуглеродистой графитизированной стали, порошковых материалов на желез-





до обкатки



после обкатки

Рис. 4. Изменения поверхностей после обкатки с присадкой [7].

ной и медной основах, углеродных и металлоуглеродных композиций. Перспективным же является введение в такие композиты наноструктур углерода [8].

ВЫВОДЫ

Внедрение нанотехнологий позволяет обеспечить динамичное развитие российского транспортного машиностроения и создание экономичной, высокоэффективной техники, отвечающей требованиям надёжности и устойчивой эксплуатации в условиях транспортного комплекса.

Основным направлением на объектах железнодорожного транспорта стало использование нанопорошков для упрочнения сталей, применяемых для производства вагонов, рельсов, колёсных пар и других напряжённых деталей поездного состава.

Специфичность электронного строения новых аллотропных модификаций углерода придаёт наноматериалам необычные физико-механические свойства, что позволяет рассматривать их как перспективные модификаторы для композитов с улучшенными триботехническими, механическими и электрическими свойствами.

Учитывая повышенную потребность в применении нанотехнологий и нанопорошков при изготовлении современной

техники, назрел вопрос о включении в программы подготовки специалистов в области эксплуатации транспортного комплекса разделов, ориентированных на изучение свойств и характеристик наноматериалов, их технологических особенностей и конструкционных преимуществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Недорчук Б. Л., Пашинин В. А., Коваленко М. А. Перспективы внедрения нанотехнологий // Мир транспорта. – 2011. – № 2. – С. 32–37.
2. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – М.: Физматлит, 2005. – 416 с.
3. Алферов Ж. И., Асеев А. Л., Гапонов С. В. и др. Наноматериалы и нанотехнологии // Микросистемная техника. – 2003. – № 8. – С. 3–13.
4. Гудилин Е. А., Третьяков Ю. Д. и др. Нанотехнологии. Богатство наномира. Фоторепортаж из глубин вещества. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2010. – 171 с.
5. Всё о металлургии. Электрошлаковый процесс. [Электронный ресурс]: <http://metal-archive.ru/ispolzovanie-zheleza/946-elektroshlakovyuy-process.html>. Доступ 19.10.2017.
6. Нанопорошки. Описание мирового рынка. [Электронный ресурс]: <http://www.abercade.ru/research/analysis/66.html>. Доступ 19.10.2017.
7. Агеев Е. В., Семенихин Б. А., Латыпов Р. А. Получение нанопорошка на основе карбида вольфрама и применение для восстановления и упрочнения деталей машин // Известия Самарского научного центра РАН. – 2010. – № 1. – С. 273–275.
8. Хартман У. Очарование нанотехнологии: Пер. с нем. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2008. – 178 с. ●

Координаты авторов: **Недорчук Б. Л.** – +7(495) 684–22–70, **Пашинин В. А.** – Pashininmiit@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 25.09.2017, актуализирована 24.10.2017, принята к публикации 18.12.2017.