

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПРЕЦИЗИОННОЙ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ

Показані особливості нанотехнологій та наноматеріалів. Приведені окремі досягнення у світовій практиці щодо застосування нанотехнологій та наноматеріалів при виготовленні прецизійної металопродукції. Визначено перспективи розвитку.

Показаны особенности нанотехнологий и наноматериалов. Представлены отдельные достижения в мировой практике использования нанотехнологий и наноматериалов при изготовлении прецизионной металлопродукции. Определены перспективы развития.

The peculiarities of nanotechnologies and nanomaterials had been shown. The separate achievements in the world practice of using nanotechnologies and nanomaterials while manufacturing the precision metal products had been presented. The perspectives of development had been determined.

### Введение

Вступая в XXI век человечество наметило к реализации стратегическую долгосрочную программу своего развития: постоянная активизация *инновационных процессов* во всех сферах жизнедеятельности (в противовес жесточайшей конкуренции применение передовых, а зачастую высоких и наукоёмких технологий по всей цепочке производственного цикла); совершенствование *структуры производства* (создание прогрессивной эколого-технологической модели производства); повышение *конкурентоспособности* на всех этапах воспроизводства (начиная от проектирования, производства продукта до его реализации за счет снижения цикличности производства и энергоёмкости выпускаемой продукции) [1].

**Проблема.** Развитие точного и энергетического машиностроения, авиа- и судостроения, космической техники и ядерной энергетики, электротехники, автомобилестроения и других отраслей постоянно вызывает потребность в высококачественной и более наукоёмкой металлопродукции из традиционных и новых материалов, обладающих высокими эксплуатационными свойствами. К такой категории продукции относятся *прецизионные трубы, фольга, тончайшая проволока и др.* [2,3]. При этом наблюдается устойчивая тенденция в *миниатюризации* изделий с оптимальными эксплуатационными характеристиками. Естественно постоянно повышаются требования к прецизи-

онной металлопродукции. В ряде случаев существующие массовые технологии производства практически достигли своих теоретических пределов и нуждаются в кардинальном обновлении.

Анализ исследований. В этой связи новый толчок в своем развитии получила не только *металлургия* (в части выплавки помимо качественных сталей и сплавов на основе цветных металлов с высокой чистотой и новыми свойствами, а также материалов нового класса – прецизионных сплавов с регламентированными физико-химическими и физико-механическими свойствами), но и *машиностроение* (в части изготовления прецизионного оборудования и технологического инструмента для изготовления металлопродукции другого, более высокого уровня качества).

В настоящее время особая роль отводится развитию наукоёмких отраслей производства с высоким уровнем добавленной стоимости. На современном этапе развития мировой экономики к таким направлениям, безусловно, следует относить *нанотехнологии* [4]. Они требуют малых затрат энергии, материалов, не нуждаются в обширных производственных и складских помещениях. С другой стороны, их развитие требует высокого уровня подготовки ученых, инженеров и технических работников, а также особой организации производства. В основе научно-технического «прорыва на наноуровне», форсируемого промышленно развитыми странами, лежит использование новых, ранее не известных свойств и функциональных возможностей материальных систем при переходе к наномасштабам, определяемым особенностями процессов переноса и распределения зарядов, энергии, массы и информации при наноструктурировании. Многие из кардинально отличных свойств наноматериалов по отношению к объемным того же химического состава обусловлены эффектами многократного увеличения доли поверхности нанозерен и нанокластеров (до сотен квадратных метров на грамм). С этим связаны новые свойства многих конструкционных и неорганических наноматериалов.

В нанотехнологиях управляющая информация передается нанозондом персонально каждому атому и молекуле «силовым методом». В этом скрыто принципиальное отличие нанотехнологий от традиционных, где поток управляющей информации подается исходному материалу как целому.

В сферу этой деятельности подпадают объекты с размерами (хотя бы вдоль одной координаты), измеряемыми нанометрами. Это ничтожно малая величина, сопоставимая с размерами атомов. Нанотехнология имеет дело с осуществлением технических процессов на

молекулярном уровне, т.е. инженеры имеют дело со сверхмалыми частицами размером до 1 нм (или одной миллиардной метра). Исследователи обнаружили, что вещество на атомном уровне ведет себя совершенно иначе.

В этом и заключается задача нанотехнологий: найти атом с необходимыми свойствами и поставить на правильное место.

Незначительная доля наночастиц трансформирует знакомые материалы до «неузнаваемости» - настолько, что в них начинают проявляться совершенно неожиданные и полезные свойства. Они сегодня заложены в основу большинства инновационных решений во всех сферах ежедневного способа производства. Такая интегрирующая роль выдвигает их на одно из первых мест в сфере критических технологий, без развития которых сегодня ни одно государство мира не может претендовать на конкурентный технологический прогресс и создание своей интеллектуальной собственности в сфере науки и технологий.

Есть два главных способа создания наноматериалов. Один из них - «снизу-вверх». Эти методы предполагают, что наноструктуры с заданными свойствами формируются последовательно из атомов и молекул, от мельчайших объемов - к более крупным. Этот путь развития нанотехнологий связан, в первую очередь, с использованием дорогостоящей аппаратуры.

Есть и второй путь - «сверху-вниз», или от объемного материала - к высокодисперсным (т.е. мельчайшим) частицам. Он не требует таких больших затрат, к тому же, в Украине есть определенный задел в этой области исследований, так что тут определенно можно получить результат.

Исследования в суперсовременной области требуют соответствующих инструментов. В данном случае - мощнейших микроскопов (электронных, туннельных), а также с использованием ядерно-магнитного резонанса. Такие приборы в Украине есть (в ряде институтов Национальной академии наук Украины), так что их следует собирать для крупных центров, объединяющих усилия ученых разных специальностей, с целью коллективного использования.

Нанопорошки все чаще находят применение в качестве наполнителей для новых материалов и композитов, компонентов многих покрытий и др.[5].

Получает развитие научное направление *квантовое материаловедение*. Свойства материалов в значительной мере определяются микроструктурой, формируемой в процессе термической и механиче-

ской обработки. Возникает она как результат фазовых превращений в материале.

В настоящее время к основным нанотехнологиям, распространенным, например, в цветной металлургии, следует отнести следующие: доведение размеров порошков до наноразмеров (порошковая металлургия); получение фольги и лент с помощью контролируемой скорости охлаждения при их кристаллизации; использование методов интенсивной пластической деформации литых и порошковых заготовок; совершенствование микроструктуры и создание новых материалов на основе эффектов дисперсионного твердения и дисперсного упрочнения (нанофазность).

ОАО «Институт Гипроцветметобработка» (Российская Федерация) успешно решает задачи с помощью разработки и практической реализации в промышленном масштабе новых дисперсионно-твердеющих сплавов. Для низколегированных медных сплавов реализуется теория создания многофазных дисперсионно-твердеющих сплавов, где каждая из образующихся в сплаве фаз «несет ответственность» за свою температурную область его упрочнения (эстафетное, или каскадное упрочнение). Созданы новые дисперсионно-твердеющие медные сплавы на базе сплавов, упрочняемых обычно холодной деформацией, когда варьированием режимов термической и термомеханической обработки достигается измельчение их макроструктуры, изменяется характер распределения фазовых составляющих и ликвационных процессов в системе, растет технологичность металлургического производства полуфабрикатов.

Нанотехнологии находят применение при *металлообработке* (в процессах обработки металлов давлением). Развиваемые в условиях Института проблемы сверхпластичности металлов РАН и ОАО «Институт Гипроцветметобработка», *нетрадиционные методы деформации* - такие как кручение под гидростатическим давлением, равноканальное угловое прессование (РКУП - на чистой меди удалось увеличить более чем на порядок предел текучести), мультиосевая деформация, знакопеременный изгиб, винтовое прессование и др. - обеспечивают деформирование заготовки без изменения сечения и формы при достижении необходимых высоких степеней деформации и измельчения зерна. Обычные методы деформации (прокатка, волочение, прессование и др.) в конечном счете, приводят к уменьшению поперечного сечения заготовок и не дают возможности достигать больших степеней измельчения зерна. Кроме того, в ОАО «Институт Гипроцветметобработка» разработаны технологии, совмещающие горячую пластиче-

скую деформацию с закалкой и старение с теплой деформацией или с кратковременным нагревом под пайку.

**Неисследованные направления в Украине.** В целом можно отметить, что производство прецизионной металлопродукции (труб, фольги, тончайшей проволоки и др.) напрямую связано с нанотехнологиями в металлургии.

Украина является одной из немногих стран мира (среди таких развитых стран, как: США, Германия, Япония, Франция, Финляндия, Швеция, Англия, Италия, Россия), имеющая мощности и научно-технический потенциал, позволяющий производить прецизионные трубы [7].

Основными производителями прецизионных труб в Украине являются 7 трубных заводов. В начале 2007 г. ОАО «Днепропетровский трубопрокатный завод» также заявил о своих намерениях до 2008 г. организовать производство прецизионных труб в труболовильном комплексе (объединении двух ТВЦ).

Сейчас прорабатывается вопрос о строительстве до 2013 года на промплощадке ОАО «Сумское машиностроительное производственное объединение им. Фрунзе» современного мини-завода по спецметаллургии и производству прецизионных труб из циркониевых сплавов для ТВЭЛов АЭС.

В XXI веке науку и технику ожидают эпохальные преобразования, которые приведут к коренным изменениям в производстве и социальной жизни.

**Цель.** Безусловно, современное направление развития нанотехнологий и наноматериалов для базовой отрасли экономики Украины является перспективным и «прорывным», по этой причине это направление развития в XXI веке для Украины является актуальным.

**Результаты исследований.** В Государственном предприятии «Научно-исследовательский трубный институт (ГП «НИТИ», Украина) автором этой статьи выполнен комплекс исследований при изготовлении прецизионных труб малых размеров с микронными стенками (диаметром менее 20 мм и толщина стенки 0,03 мм и менее) из прецизионных сплавов, в частности, на основе титана, с применением процесса волочения на подвижной оправке и последующей термопластической деформации (совместного нагревания и охлаждения системы «оправка-труба» для создания зазора между трубой и оправкой для последующего извлечения оправки из трубы)[6]. После этой операции в металле готовых труб образовывалось супертонкое зерно, получить которое традиционными способами изготовления не удавалось.

В 80-тые годы прошлого столетия в ГП «НИТИ» были проведены успешные опыты по изготовлению труб из газофазного вольфрама с применением процесса теплового волочения на подвижной оправке с подпором, основанным на эффекте различия температурных коэффициентов линейного расширения материалов трубы и оправки.

**Перспективные направления исследований.** К развитию нанотехнологий и наноматериалов в металлургии необходимо подходить комплексно, по всей технологической цепочке от сырья до готовой продукции.

*Минерально-сырьевая база.* В Украине на данный момент недостаточное качество железорудного сырья. Имея в стране небогатую по содержанию железа руду, можно и нужно думать о повышении конкурентоспособности сырья для отечественных металлургов. Например, в Японии компании „Kobe Steel” и „Mildrex” изобрели новый способ получения из низкосортной руды концентрата с 96-98% содержанием железа [1].

В Украине накоплены значительные объемы отходов промышленного производства, в которых содержится широкий спектр полезных элементов [8]. Развитие этого направления путем извлечения полезных элементов из отходов с применением новейших наукоёмких технологий безусловно даст новый импульс развитию отечественной качественной металлургии и производству прецизионной металлопродукции [9].

Очень важно иметь в виду, что 5-7% веществ в воде морей и океанов находятся в виде наночастиц. Развитые страны мира активно проводят исследования минеральных ресурсов Мирового океана и, в связи с этим, параллельно интенсивно развивается новое направление металлургической отрасли [4].

*Выплавка чугуна.* Производство чугунных труб в мире непрерывно растет с использованием в качестве исходного сырья высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ). Этот чугун имеет ряд преимуществ по сравнению со сталью и серым чугуном. В перспективе могут быть другие наноструктурные чугуны [10].

*Выплавка стали.* Нанотехнологии могут развиваться при разработке наноструктурных марок сталей (или классов), которые должны отвечать современным требованиям и требованиям ближайшей перспективы, в первую очередь, комбинированным требованиям: высокие прочность, пластичность и ударная вязкость.

*Прецизионная металлопродукция (трубы, проволока, фольга и др.).* В последнее время возникает потребность в суперпрецизионной

*металлопродукции*, которую изготавливать на действующем «*макрооборудовании*» уже технически и практически стало невозможным. Необходимы прогрессивные *прецизионные нанотехнологии*. Кроме того, традиционные материалы и даже известные прецизионные сплавы иногда не обеспечивают тот необходимый комплекс свойств, которые требуют современные условия использования прецизионной металлопродукции. Традиционные способы обработки металлов давлением (ОМД) также уже не обеспечивают получение необходимой структуры металла в готовых прецизионных изделиях из-за недостаточно интенсивной деформации. Необходимо разрабатывать новые наукоемкие *комплексные технологии* с целью обеспечения интенсивной пластической деформации с применением традиционных процессов ОМД под последующим или непосредственным влиянием на металл различных физических процессов (нагрева, охлаждения, колебаний, излучений, электрического тока и др.) [11].

*Сварные трубы*. Применение сварных труб с каждым годом расширяется, кроме традиционных отраслей потребления (магистральные нефте- и газотрубопроводы высокого давления и др.) они используются в ядерной технике, конструкционных сооружениях, «трубчатых изделиях» и др.[12,13]. Современные требования к сварным трубам большого диаметра вынуждают их производителей увеличивать толщину стенки трубы до 40 мм, в то время, когда японские исследователи и производители таких труб добились повышения прочности сварного шва за счет получения супермелкой структуры в зоне сварного шва, что значительно (в несколько раз) повысило его прочность. В общем процессы сварки являются серьезным объектом применения нанотехнологий и присадочных наноматериалов.

### **Выводы**

Существующие предприятия-производители прецизионной металлопродукции в Украине нуждаются в коренной реконструкции и модернизации, внедрении наукоёмких технологий. В числе приоритетов при производстве прецизионной металлопродукции должны стать нанотехнологии и наноматериалы.

Безусловно, рассмотренные направления могут быть реализованы в Украине в разные сроки: краткосрочные (1-3 года), среднесрочные (3-5 лет) и долгосрочные (на протяжении 10-15 и более лет).

В зависимости от уровня и стабильности финансирования, организации исследований; научно-технического потенциала, который будет привлечен к таким работам и других влияющих условий сроки

разработок, исследований и внедрения в промышленность могут быть более сжатыми.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Стасовский Ю.Н. Стратегия инновационного развития горно-металлургического комплекса региона // Экономика Украины.- 2005.-№2.- С.29-37.
2. Стасовский Ю.Н. Прецизионные трубы // Металл и литье Украины.- 2008.-№1.- С.39-57.
3. Стасовский Ю.Н. О технологических особенностях производства прецизионных изделий из цветных металлов // Металл и литье Украины.- 1997.-№8-9.- С.38-42.
4. Стасовский Ю.Н. Нанотехнологии в металлургии: состояние, проблемы, перспективы // Металл Бюллетень. Украина.- 2007.-№8 (122).- С.118-130.
5. Стасовский Ю.Н. Нанотехнологии в металлургии и машиностроении – приоритетное направление развития в XXI веке / Сборник материалов V международной научно-практической конференции «Перспективы развития горно-металлургического комплекса – направляющий вектор машиностроения», Днепропетровск.- 2007. С. 90-100.
6. Стасовский Ю.Н. Развитие теории и совершенствование технологии производства холоднодеформированных прецизионных труб с применением процессов волочения / Материалы международной конференции «Трубы-Украина-2007», Днепропетровск.- 2007. С. 456-473.
7. Стасовский Ю.Н. Мировая трубная промышленность. XXI век // Экономика Украины.- 2008.-№4. - С.19-37.
8. Стасовский Ю.Н. Перспективные возможности Украины по обеспечению цветными металлами с использованием собственного сырья // Металл и литье Украины, 2001.- №10-11.- С. 3-5.
9. Стасовский Ю.Н. Структура потребления полуфабрикатов из цветных металлов в Украине // Металл и литье Украины, 2001.- №1-2.- С. 3-5.
10. Стасовский Ю.Н. Высокопрочный чугун – металл завтрашнего дня // Металл Бюллетень. Украина, 2006.- №8 (110).- С. 74-77.
11. Стасовский Ю.Н. Термопластическая деформация при волочении прецизионных труб на подвижной оправке // Сталь.- 1999.- №7.- С. 53-57.
12. Стасовский Ю.Н. Современный уровень технологии и оборудования производства товарных и передельных сварных труб из цветных металлов и перспектива развития их производства // Цветные металлы.- 2001.- №3.- С. 68-71.
13. Стасовский Ю.Н. Точная настройка. Ресурсосберегающие технологии производства прецизионных труб в условиях мини-производств с использованием сварной заготовки // Металл Бюллетень. Украина, 2007.- №7 (121).- С. 96-109.