

ной зоны для полупроводников как результат проявления квантоворазмерных эффектов и т.д. Поиск новых размерных эффектов, свойственных наноматериалам, и их количественное определение требуют разработки воспроизводимых масштабируемых методов получения веществ в нанодисперсном состоянии.

Одними из наиболее перспективных, как с технологической, так и с экономической точек зрения, методов синтеза оксидных наноматериалов являются методы «мягкой химии», основанные на синтезе из водных и неводных растворов при невысоких температурах. Несмотря на относительную простоту экспериментальной реализации, существующие методики зачастую не обеспечивают возможности направленного получения наночастиц заданного размера и морфологии. Это ограничение обусловлено в первую очередь тем, что в целом ряде случаев практически неизученной остается сама последовательность физико-химических процессов (в том числе многостадийных реакций образования и трансформации гидроксо- и оксо соединений металлов), приводящих к получению нанодисперсных оксидов. В связи с этим большое значение приобретают комплексные исследования закономерностей образования и роста наночастиц оксидов металлов с привлечением современных физико-химических методов, обеспечивающих необходимую информацию о составе, структуре и дисперсности промежуточных и конечных продуктов синтеза, а также разработка новых синтетических подходов.

*Литература*

<http://www.nanometer.ru>

*М.Н. Пищов, Ф.Ф. Царук  
БГТУ, г. Минск*

## **ПОВЫШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УСТАЛОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ КОМПЛЕКСНЫМ БОРИРОВАНИЕМ**

Лесная промышленность Республики Беларусь представлена лесными и лесопромышленными предприятиями, которые оснащены различной техникой: агрегатными лесосечными машинами, трелевочными тракторами, лесовозными автопоездами и другим оборудованием. Условия эксплуатации ряда сложнагруженных деталей машин характеризуются значительным трением, интенсивным износом на их рабочих поверхностях, а также вибрациями широкого амплитудно-частотного диапазона. Работа трелевочного трактора постоянно сопровождается наездами на препятствия разного рода: пни, валежник, неровности, валуны, и т.д. Доказано, что динамические кру-

тящие моменты в трансмиссии колесного трактора имеют наибольшее значение при интенсивном трогании с места.

Для повышения надежности и срока службы подобных изделий возникает необходимость применения различных способов поверхностного упрочнения. Одним из наиболее простых и доступных способов повышения поверхностной твердости, а также износостойкости деталей является их диффузионное упрочнение, которое проводится следующим образом. Деталь помещается в контейнер, выполненный из жаростойкой стали. На зубья шестерни наносится специально приготовленная обмазка на расстоянии 2 см от поверхности контейнера с каждой стороны, далее контейнер вместе с шестерней помещаются в нагревательную печь на 3–4 часа для образования необходимой толщины диффузионного слоя. Упрочнению подвергались только зубья шестерни.

Для осуществления низкочастотного и высокочастотного нагружения был разработан, а позднее модернизирован комплекс магнитострикционных резонансных установок, позволяющий проводить испытания различных конструкционных материалов (как металлических, так и неметаллических) на больших базах испытаний в широком диапазоне частот (0,3 кГц – 18 кГц) и температур (300 – 1000°K). Учитывая специфику исследований и особенно резонансный режим нагружения, с целью уменьшения разброса результатов экспериментов особое внимание обращалось на качество и механические свойства материала заготовок. С целью исключения влияния разброса химического состава на результаты испытаний образцы вырезались из металла одной поставки. Технология механической обработки предусматривала на заключительной стадии съем минимальной толщины слоя с целью предотвращения влияния технологической наследственности, а термообработка образцов проводилась одной партией.

Для ускоренного определения усталостных характеристик упрочненных образцов как в условиях знакопеременного изгиба, так и при растяжении-сжатии использовалась магнитострикционная установка (резонансная частота 18,0 кГц). Исследования проводились для разного времени и температур насыщения, что соответствует формированию в диффузионных слоях разных уровней остаточных напряжений сжатия.

Результаты испытаний позволили установить повышение предела выносливости  $\sigma_{-1}$  боросилицированных образцов по сравнению с улучшенными и закаленными ТВЧ в 1,4–1,9 раза, по сравнению с цементированными в 1,6–1,7 раза и по сравнению с борированными в 1,4–1,6 раза при меньшем разбросе долговечности благодаря более однородной структуре упрочненного слоя. Повышение усталостных характеристик при боросилицировании связано в основном с образованием в упрочненном слое остаточных напряжений сжатия, которые замедляют образование усталостной трещины. Снижение усталостных характеристик при борировании, отмечаемое при

увеличении времени и температуры насыщения, связано с высокой хрупкостью упрочненного данным методом диффузионного слоя.

На основании полученных результатов по усталостной прочности упрочненной поверхности были определены допускаемые контактные напряжения и допускаемые напряжения при изгибе при боросилицировании зубчатых колес, которые увеличиваются по сравнению с цементированными соответственно в 1,45 и 1,4 раза и достаточны для работы конических передач трансмиссий трелевочного трактора. Полученные значения допускаемых напряжений могут использоваться при проектных и проверочных расчетах зубчатых колес.

На основании полученных данных установлено, что оптимальным для повышения усталостных характеристик является время насыщения 2,5–3,5 часа при температуре процесса 900 – 1000 °С. При этом образуется упрочненный слой толщиной от 120 – 250 мкм, достаточной для работы зубчатых передач трансмиссий в условиях интенсивного изнашивания и динамических нагрузок. Повышение времени обработки свыше 3,0 часов приводит к постепенному снижению величины  $N_{ц}$  вследствие коагуляции  $Fe_2B$ , а также образования в поверхностном слое фазы  $FeB$ , обладающей повышенной хрупкостью.

*М.Н. Пицов, С.Е. Бельский, А.Л. Борисевич  
БГТУ, г. Минск*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ ТРАНСМИССИЙ ЛЕСНЫХ МАШИН**

В процессе упрочнения деталей борированием при высокой температуре происходит диффузия бора в поверхностный слой материала на некоторую глубину. В связи с тем что температурные коэффициенты линейного расширения в сердцевине детали и поверхностном слое разные, при остывании после комплексного борирования, начиная с некоторой температуры  $T_0$ , град., в детали будут возникать температурные остаточные напряжения.

Установлено, что в результате изменения удельных объемов при фазовых превращениях и различных коэффициентах линейного расширения материалов упрочненного слоя и основы металла возникают остаточные напряжения сжатия с большим градиентом по глубине поверхностного слоя, величина которого зависит от способа упрочнения. Характер распространения остаточных напряжений по глубине слоя практически одинаков для различных процессов упрочнения. Для подтверждения расчетной теоретической модели было проведено экспериментальное определение характе-