

высоким сопротивлением абразивному изнашиванию. Дальнейшее увеличение износостойкости лезвий неизбежно повлечет повышение стоимости дисковых рабочих органов [2].

Известны случаи изготовления долот из сталей пониженной прокаливаемости. При этом сталь 55ПП (из которой изготавливались долота) в отпущенном состоянии обладала наилучшими показателями физико-механических свойств, что значительно превышало показатели традиционно используемого материала, стали 65Г. Твердость долот составила 55...60 HRC, прочность  $\sigma_b=2000...2400$  МПа, ударная вязкость  $a_n=0,8...1$  МДж/м<sup>2</sup> [6].

Известно, что при закалке сталей пониженной прокаливаемости предлагаемой технологией, достигается высокая степень твердости в поверхностном слое материала при вязкой его сердцевине [6]. Такая структура позволяет обеспечить высокий уровень эксплуатационных свойств изделия.

Наши исследования показывают, что при изготовлении дисков рационально использовать в качестве сырьевого ресурса сталь 60ПП. Данный материал относится к ряду сталей пониженной прокаливаемости, которые, в свою очередь, позволяют получить высокую твердость при упрочнении с использованием технологии импульсного закалочного охлаждения. Поверхностные слои подвергаются закалке на мартенсит, при твердости 63-65HRC, временное сопротивление разрыву превышает 2500МПа, ударная вязкость превышает 150 Дж/см<sup>2</sup>. В результате создается композитная структура с вязкой сердцевиной и твердой поверхностью. Приведенные показатели являются необходимыми и достаточными для повышения ресурса дисковых рабочих органов лущильников.

#### Литература

1. Сидоров С. А. Обоснование эффективных способов повышения работоспособности и износостойкости сферических дисков почвообрабатывающих машин : автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук:05.20.04 /. - М., 1996.
2. Константинов В.М., Пантелеенко Ф.И. и др. Технология упрочнения почворезущих деталей Инженер-механик №3 2005.
3. Сидоров С.А. Методика расчета рабочих органов почвообрабатывающих машин на прочность. Тракторы и сельскохозяйственные автомобили №12 2008.
4. Сидоров С.А. Методика расчета на износостойкость моно- и биметаллических почворезущих рабочих органов Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2003, №12.
5. Сидоров С.А. Условия резания почвы резанием с образующимся почвенным ядром Техника в сельском хозяйстве №5, 2008.
6. Шилов И.Н., Бетень Г.Ф. и др. Методика сравнительной оценки технического уровня деталей рабочих органов сельскохозяйственной техники Инженерный вестник №2 2009.

УДК 620.3: 631.3

#### **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В РЕМОНТНО-ОБСЛУЖИВАЮЩЕМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

**Толочко Н.К.**, д.ф.-м.н., профессор, **Миклуш В.П.**, к.т.н., профессор  
Белорусский государственный аграрный технический университет

В последние годы нанотехнологии все шире распространяются в различных отраслях агропромышленного комплекса (АПК) [1]. В частности, значительное внимание уделяется вопросам развития нанотехнологий в ремонтно-обслуживающем производстве сельскохозяйственной техники. В настоящей статье кратко рассматриваются основные пути решения этих вопросов на факультете «Технический сервис в АПК» БГАТУ.

Перспективным направлением повышения срока службы деталей рабочих органов сельскохозяйственной техники является их поверхностное упрочнение. Сотрудниками факультета разработана технология упрочнения таких деталей, изготавливаемых из углеродистых конструкционных сталей пониженной прокаливаемости, на основе применения им-

пульсного закалочного охлаждения и низкого отпуска. Экспериментально установлено, что в приповерхностном слое обрабатываемого материала формируется фрагментированная нанокристаллическая структура мартенсита, что позволяет достигнуть оптимального соотношения прочностных и вязкостных характеристик [2]. Так, в результате выбранных режимов термообработки для стали 60ПП медноигольчатый мартенсит с наибольшей длиной игл 1-4 мкм дробится на отдельные, разориентированные под определенными углами фасетки размерами 20-80 нм внутри пластинок мартенсита. Благодаря этому механические свойства (в частности, предел прочности на изгиб) возрастают на 35-45%, что существенно превосходит аналогичные показатели при традиционных режимах закалки и отпуска. Разработанная технология нашла практическое применение на предприятиях технического сервиса Республики Беларусь.

Важным направлением научной деятельности факультета является создание разнообразных фильтрующих материалов методами порошковой металлургии [3]. Такие материалы широко применяются в агроиндустрии, в частности, для фильтрационной очистки топливо-смазочных жидкостей, а также воды. В последние годы ученые факультета получают их на основе нанопорошков, что позволяет существенно снизить температуру спекания и улучшить эксплуатационные характеристики материалов.

Для повышения качества материалов, применяемых при ремонте и техническом обслуживании и эксплуатации сельскохозяйственной техники, разрабатываются разнообразные способы их наномодифицирования. В результате экспериментальных исследований предложены пути улучшения свойств ряда таких материалов путем введения в их состав в определенных количествах углеродных нанопорошков. В частности, эксперименты показывают, что наномодифицирование лакокрасочных материалов приводит к снижению времени их отверждения при нанесении покрытий, а также к повышению адгезионной прочности и абразивной стойкости покрытий [4], а наномодифицирование моторных масел обеспечивает существенное (на 30% и более) снижение износа трущихся деталей [5].

При производстве и ремонте деталей сельскохозяйственной техники важная роль отводится процессам обработки металлов резанием, для успешной реализации которых служат смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). В выполненных на факультете экспериментах по магнитно-абразивной обработке металлических поверхностей показано, что использование высокодисперсных эмульсионных СОЖ способствует существенному (в 1,5 раза) увеличению производительности обработки и уменьшению шероховатости поверхности (масляные капли эмульсии измельчали до микронных размеров ультразвуковой кавитационной обработкой) [6]. Предполагается, что полученные результаты связаны с усилением режущего действия высокодисперсных СОЖ, обусловленным более активным проникновением масляной фазы в микротрещины металла, возникающие в зоне резания. Следует ожидать, что дополнительное повышение эффективности МАО (как, впрочем, и других видов обработки резанием) может быть достигнуто при переводе значительного числа масляных капель в субмикроразмерную область, для чего требуется совершенствование методов диспергирования СОЖ.

При решении вопросов развития нанотехнологий в ремонтно-обслуживающем производстве сельскохозяйственной техники ученые факультета тесно сотрудничают с различными научными и производственными организациями Республики Беларусь. К выполнению исследований по нанотехнологической тематике привлекаются магистранты и аспиранты, а также студенты университета, что в значительной мере обеспечивает решение задач подготовки высококвалифицированных специалистов для АПК, способных успешно продвигать нанотехнологии в агропромышленную сферу.

В рамках решения указанных задач особое внимание уделяется разработке оптимальных методологических подходов к преподаванию учебных дисциплин с учетом современного состояния и перспектив применения нанотехнологий в АПК. В последние годы нанотехнологическая тематика постепенно входит в содержание ряда учебных дисциплин, преподаваемых на факультете, в частности, таких как «Материаловедение и технология конструкци-

онных материалов», «Технология производства и ремонта сельскохозяйственной техники», «Упрочняющие технологии». Это находит соответствующее отражение в характере проводимых учебных занятий.

Например, в учебной программе дисциплины «Упрочняющие технологии» по специальности «Ремонтно-обслуживающее производство в сельском хозяйстве» предусмотрено изучение следующих тем: «Наноматериалы» (нанокристаллы, фуллерены, нанотрубки, нанокристаллические материалы, фуллериты, металлические и полимерные нанокомпозиты, нанопористые материалы, наноаэрогели, наносuspensions и наноэмульсии; наномодифицирование сварных швов, припоев, клеев, герметиков, смазочных материалов); «Наномодифицирование поверхности» (формирование приповерхностных слоев с нанокристаллической, нанокомпозиционной и нанопористой структурой; химическое наномодифицирование поверхности; формирование нанорельефа поверхности); «Наноструктурные покрытия» (покрытия с нанокристаллической и нанокомпозиционной структурой).

В соответствии с указанной тематикой предусмотрено проведение практических занятий по изучению структуры наноматериалов, поверхностных наномодифицированных слоев и нанопокровов. На этих занятиях студентам предлагается на основе анализа микрофотоизображений наноструктур дать их качественную и количественную характеристику, в частности, определить размерные параметры изучаемых нанообъектов (нанозерен, нановключений, нанопор и др.).

#### Литература

1. Нанотехнологии в агропромышленном комплексе: монография / С.А. Жданок [и др.]; под ред. Н.К. Толочко. – Минск: БГАТУ, 2012. – 172 с.
2. Бетень, Г.Ф. Формирование нанокристаллического состояния в деталях из углеродистых конструкционных сталей импульсной закалкой / Г.Ф. Бетень, Г.И. Анисковия, Д.М. Шмарловский // Современные проблемы освоения новой техники, технологи, организации технического сервиса в АПК: матер. Междунар. научно-техн. конф., посвященной 60-летию Бел. гос. агро-техн. ун-та и памяти первого ректора БИМСХ (БГАТУ), док. техн. наук, проф. В.П. Суслова (Минск, 4-6 июля 2014 г.). В 2 ч. Ч. 1 / под общ. ред. Н.И. Шило, Н.А. Лабушева. – Минск: БГАТУ, 2014. – С. 176-182.
3. Капцевич, В.М. Фильтрующие материалы: перспективные области применения в агропромышленном комплексе и современные технологии получения / В.М. Капцевич, Л.С. Богинский, Р.А. Кусин, О.П. Реут // Минск: БГАТУ, 2006. – 189 с.
4. Толочко, Н.К. Разработка технологических подходов к получению наномодифицированных лакокрасочных материалов / Н.К. Толочко, Н.Р. Прокопчук, А.В. Крауклис, П.Г. Становой // Опыт, проблемы и перспективы развития технического сервиса в АПК: докл. Междунар. научно-практ. конф., Минск, 15-18 апреля 2009 г. В 2 ч. Ч. 1 / редкол. И.Н. Шило [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2009. – С. 375-378.
5. Толочко, Н.К. Триботехнические характеристики моторного масла, модифицированного углеродными наночастицами / Н.К. Толочко, А.В. Крауклис, П.Г. Становой, Ю.А. Шиенок // Там же. – С. 379-383.
6. Толочко, Н.К. Влияние дисперсности смазочно-охлаждающих жидкостей на эффективность их применения при финишной магнитно-абразивной обработке поверхностей деталей машин / Н.К. Толочко, К.Л. Сергеев // Современные проблемы освоения новой техники, технологи, организации технического сервиса в АПК: матер. Междунар. научно-техн. конф., посвященной 60-летию Бел. гос. агро-техн. ун-та и памяти первого ректора БИМСХ (БГАТУ), док. техн. наук, проф. В.П. Суслова (Минск, 4-6 июля 2014 г.). В 2 ч. Ч. 2 / под общ. ред. Н.И. Шило, Н.А. Лабушева. – Минск: БГАТУ, 2014. – С. 165-169.