

УДК 621.8:630*36

Исследование наноматериалов при поверхностном упрочнении деталей лесных машин

О.М. Тимохова¹, Н.Р. Шоль¹¹Ухтинский государственный технический университет, ул. Первомайская, 13, г. Ухта, Республика Коми, Россия

E-mail: E-mail: chonochka@mail.ru

Статья поступила 12.07.2012, принята 16.11.2012

Исследованы упрочняющие технологии обработки деталей. Представлена новая упрочняющая технология обработки деталей лесотранспортных машин. Исследованы способы химико-термической обработки деталей и ее роль в улучшении физических свойств исследуемых образцов. Для проведения эксперимента был использован разработанный порошок с наночастицами целлюлозы. Проведены стендовые исследования образцов на износостойкость. Экспериментальным путем установлена зависимость показателей твердости, износостойкости от способа напыления газотермического напыления. Путем проведения опыта установлена прочность сцепления между напыленным покрытием и подложкой. Изучена структура получившегося покрытия, исследовано взаимодействие наночастиц покрытия друг с другом и на границе раздела слоев. Проведен системный анализ полученных данных с использованием компьютерных программ.

Ключевые слова: упрочнение, наноматериалы, газотермическое напыление, химико-термическая и термическая обработка, износостойкость.

Nanomaterials research under superficial hardening of hauling machines parts

O. M. Timokhova¹, N.R. Shol¹¹Ukhta State Technical University, 13 Pervomayskaya str., Ukhta, the Komi Republic, Russia. E-mail: chonochka@mail.ru

The article received 12.07.2012, accepted 16.11.2012

The hardening machining techniques have been investigated. The new hardening technique for processing the hauling machines parts has been proposed. The techniques of chemical engineering processing and its role in the improvement of the test samples physical properties have been examined. To carry out the experiment, the developed powder containing cellulose nanoparticles was employed. The benchmark tests of the samples to find out their wear resistance have been conducted. The dependence of the hardness and wear resistance indices on the gas-thermal evaporation method has been established experimentally. By conducting the experiment, the cohesive strength between the evaporated coating and the padding has been determined. The structure of the resulted coating has been studied; the coating nanoparticles interaction with each other and at the deposit-substrate interface has been examined. The system analysis of the obtained data using computer programs has been conducted.

Keywords: strengthening, nanomaterials, gas-thermal evaporation, chemical-thermal and thermal processing, wear resistance.

В настоящее время повышение качества, износостойкости деталей лесотранспортных машин, технологического оборудования является одним из приоритетных направлений. В научно-исследовательских организациях разрабатываются комплексные мероприятия по повышению износостойкости деталей лесных машин и технологического оборудования, внедряются прогрессивные упрочняющие технологии обработки поверхности деталей машин.

С целью исследования прогрессивных технологических процессов были выбраны следующие упрочняющие технологии обработки:

- классическая термообработка с последующим газотермическим напылением;
- исследуемая термообработка с последующим газотермическим напылением исследуемым порошком;
- газотермическое напыление без термообработки;

– газотермическое напыление с исследуемым порошком.

Непосредственно перед газотермическим напылением восстанавливаемые детали должны пройти тщательную механическую обработку, так как наличие оксидных пленок, масла уменьшает прочность сцепления покрытия с основой. Методы механической обработки поверхности перед нанесением покрытия: травление, нагрев, струйно-абразивная и электрозвуковая обработка.

На схеме 1 представлена стандартная обработка деталей.



Схема 1. Стандартная обработка деталей.

После механической обработки проводили химико-термическую и термическую обработку. На схеме 2 представлена технология упрочняющей обработки деталей.



Схема 2. Предлагаемая технология обработки деталей.

Для проведения эксперимента были изготовлены четыре партии образцов из стали 20Х, которые в последующем подвергались различным технологиям обработки.

Технологический режим химико-термической обработки заключался в цементации при температуре 900 С, закалке при температуре 850 °С, последующем низком отпуске.

Часть образцов подвергали химико-термической обработке, содержащей в качестве карбюризатора кек, основными компонентами которого являются углерод, а также сопутствующие элементы Са, Al, Si, поэтому после цементации поверхность насыщалась как углеродом, так и вышеперечисленными элементами. После цементации и закалки использовали охлаждающую жидкость на основе водного раствора борогидрата натрия.

Термически обработанную поверхность подвергали газотермическому напылению известными составами порошков, а также нанопорошком.

Для его создания предлагается в состав стандартных оксидных и карбидных композиционных порошков ввести наночастицы отходов целлюлозного производства $C_6H_{10}O_5$. Для исследования материала для покрытия был выбран терморезающийся порошок на никелевой основе ПТ-19Н-01 тип Ni-Cr-B-Si-C-AL, в состав которого были введены наночастицы целлюлозы (0,5 % ... 1,5 %).

По сравнению со стандартными составами порошков, наноструктурированные частицы дают возможность достичь минимальной пористости структуры покрытий, а также способствуют увеличению прочностных характеристик покрытия.

Само по себе газотермическое напыление есть многослойный материал, где каждый слой – это сильно деформированные напыленные частицы. Эти частицы имеют связь между собой по контактными поверхностям, на которых уже произошло химическое взаимодействие (рис. 1) [3].

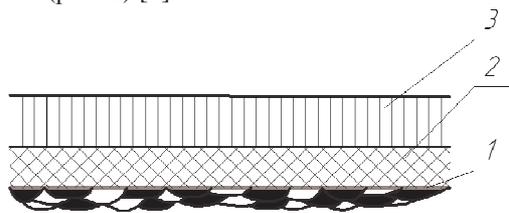


Рис. 1. Схема структуры газотермического напыления: 1 – граница между покрытием и подложкой; 2 – граница между слоями; 3 – граница между частицами в слое.

Прочность соединения между покрытием и подложкой определяется границей раздела между ними (рис. 1, 1). Прочность сцепления частиц в напыленном покрытии определяет свойства данного покрытия (рис. 1, 2) и рассчитывается согласно формуле [1]:

$$\sigma_{\text{сш}} = \frac{P}{F}, \quad (1)$$

где P – разрушающая нагрузка, Н; F – площадь поверхности образца, m^2 .

Адгезия – это сцепление покрытия с подложкой, а сцепление частиц между собой в покрытии называют когезией.

Были исследованы на прочность сцепления наноструктурированного слоя с подложкой и сравнены со стандартным газотермическим покрытием.

Образцы, прошедшие термическую и химико-термическую обработку с последующим напылением были подвержены проверке на адгезионную прочность [1].

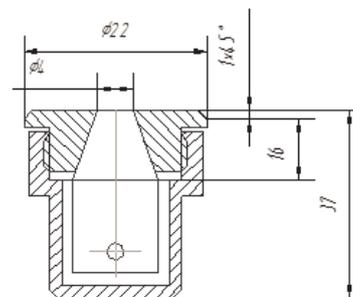


Рис. 2. Образец для измерения адгезионной прочности штифтовым методом.

После проведения совместной обработки торца штифта и поверхности фланец-подложки была необходимость вытаскивать штифт из подложки для того, чтобы устранить искажения результатов исследования, которые появлялись в результате совместной механической обработки штифта и подложки (спайка).

После того, как покрытие уже сформировано и охлаждено до температуры 25 °С, фланец-подложку со штифтом вынимали из корпуса и устанавливали в разрывную машину (специальное устройство, которое включает в себя приспособление для установки образца, динамометр для определения усилия отрыва и гидроривод для приложения усилия). Получив усилие отрыва штифта от подложки и разделив полученные значения силы на площадь торца штифта ($12,56 \text{ мм}^2$), тем самым получили величину адгезионной прочности покрытия [1].

Следующим этапом исследований является проверка износостойкости покрытий. На машине трения МТУ-01 проводились испытания на износ. Методика эксперимента состоит в том, что испытываемые образцы, прижатые друг к другу с заданным усилием, обоюдно перемещаются в среде смазочных материалов. Скорость вращения образцов без нагрузки составляет 1700 об/мин, усилие прижима испытываемых образцов – 550Н. Размер образцов: пластины (неподвижная сталь) – диаметр 50 мм (зона трения около $3,5 \text{ см}^2$), вращаю-

щиеся ролики (3 шт.) – диаметр каждого 10 мм, площадь трения примерно 1,5 см² (зависит от приработки образцов) [2].

Торец вращающегося ролика и плоскости неподвижного диска будут являться контактными поверхностями. Находящиеся в приборе тензодатчики позволяют фиксировать момент трения и осевую нагрузку, а термопара регистрирует показания температуры. Полученные данные заносятся и обрабатываются с помощью компьютера в данный момент времени, в определенном временном отрезке. Используемое программное обеспечение во время эксперимента дает возможность регистрировать момент трения, температуру и осевую нагрузку в данное время, строить графики их изменений и проводить продолжительные испытания, вплоть до нескольких часов [2].

Интенсивность изнашивания рассчитывали по формуле:

$$J = \frac{\Delta h}{L}, \quad (2)$$

где Δh – линейный износ, мм; L – путь трения, км.

Износ определяли гравиметрическим методом измерения веса испытываемых образцов с использованием аналитических весов ВЛР с точностью 0,0001 г.

Измерение микротвердости проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 9450-76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников» по методу восстановленного отпечатка. Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1

Исследования комплексной упрочняющей обработки на износостойкость

Технология обработки	Твердость, HRC	Интенсивность изнашивания образцов, мг/100 ч		Нагрузка, вызывающая задиры, МПа	
		Втулка	Кольцо	Втулка	Кольцо
Напыление порошком ПТ-19Н-01 без термообработки	28...40	120,2	115,3	115,6	114,5
Исследуемый порошок на основе ПТ-19Н-01 с добавкой наночастиц (0,5 % – 1,5 %)	60...70	38,95	19,01	35,67	17,78
Классическая термообработка, напыление порошком ПТ-19Н-01	30...45	110,3	104,6	109,7	108,7
Исследуемая термообработка, напыление порошком, в состав которого включены наночастицы	85	38,15	18,00	34,4	16,4

По результатам исследований построены диаграммы, отражающие интенсивность изнашивания образцов и нагрузки, вызывающую задиры, в зависимости от технологий обработки (рис. 3).

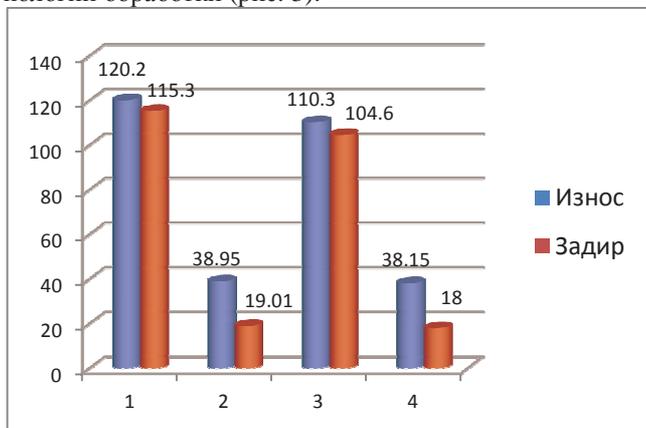


Рис. 3. График интенсивности изнашивания и нагрузки, вызывающей задиры.

Исследования показали, что предлагаемая упрочняющая технология обработки деталей лесотранспортных

машин позволяет повысить износостойкость в 2,5-3 раза. Таким образом, благодаря достоинствам наноструктурированного покрытия достигаются повышение износостойкости и улучшение эксплуатационных свойств, что обеспечивает увеличение ресурса работы деталей, снижение затрат на ремонт и существенное сокращение сроков простоя машин и оборудования в ремонте.

Литература

1. Рогожин В.М., Смирнов Ю.В., Петров В.Я. Определение адгезионной прочности газотермических покрытий // Порошковая металлургия. 1982. № 7. С. 87-91.
2. Докукина И.А., Бобров Г.В., Барвинок А.В. Исследование износостойкости композиционных газотермических покрытий // Проблема машиностроения и автоматизации. 1996. № 1-2. С. 91-93.
3. Тимохова О.М. Перспективы применения газотермического напыления для восстановления деталей машин // Ресурсосберегающие технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня : материалы 12-й междунар. науч.-практ. конф. СПб. 2010. Ч. 1. С. 217-220.
4. Тимохова О.М. Исследование восстановления деталей машин методами напыления и термической обработки // Сб. науч. тр.: материалы науч.-техн. конф. (13-15 апр. 2010 г.). Ухта, 2010. Ч. 2. С. 116-118.

References

1. Rogozhin, V. M., Smirnov, U. V., Petrov, B. J. Determination of adhesive firmly STI-thermal coatings. Powder Metallurgy, 1982, № 7. - С. 87-91.
2. Dokukina I. A., Bobrov G. V., Barvinok A. V. Investigation of wear resistance of composite thermal coatings. - The problem of mechanical engineering and automation, 1996, № 1-2. а. 91-93.
3. Timokhova, O. M. Prospects for the application of thermal spraying to reproduce the formation of machine parts. Resource-saving technology of repair, restoration and strengthening of machine parts, tools, equipment, tools and tooling from nano-to macro-level: Proceedings of the 12th International Scientific Conference: Part 2, Part 1. - St. Petersburg: Izd Politehn.un Press, 2010. - S. 217-220

4. Timokhova, O. M. Investigation of the restoration of machine methods of deposition and thermal treatment. Collection of Scientific Papers: Materials Science and Engineering Conference (13-15 April 2010): 3 hours, Part II / ed. ND Tshadaya. - Ukhta: Ural State Technical University, 2010. - S. 116-118

УДК 630*848

Теория и практика хранения древесного сырья с использованием снегования и заморозки

А.Н. Комяков¹, Р.И. Диев¹

¹ Московский государственный университет леса, ул. 1-я Институтская 1, г. Мытищи, Россия. E-mail: akomyakov@mail.ru
Статья поступила 3.08.2012, принята 16.11.2012

Хранение круглых лесоматериалов предусматривает защиту древесины от повреждений грибами и насекомыми, а также от появления трещин и загнивания. Среди известных способов хранения древесного сырья с использованием снегования и замораживания является одним из самых экономичных и экологически чистых. При этом способе используются естественные природно-климатические и производственные факторы, характерные для многих лесопромышленных предприятий: отрицательные зимние температуры, атмосферные осадки (снег), имеющиеся водные ресурсы и мелкофракционные древесные отходы, пригодные для создания теплоизолирующего слоя. Данный способ хранения давно известен и хорошо зарекомендовал себя на некоторых отечественных и зарубежных предприятиях. Несмотря на это, до настоящего времени не разработано методик расчета и обоснованных рекомендаций по параметрам хранения данным способом. В данной работе дано описание математической модели теплофизических процессов в штабеле с замороженной древесиной и теплоизолирующим слоем. В результате расчетов по этой модели можно получить значения достаточных величин теплоизолирующего слоя при известных температурных режимах воздуха и основания под штабелем в период формирования и хранения в весенне-летний период. Важная особенность постановки данной задачи состоит в том, что в штабеле создается не гомогенная среда, а двухкомпонентная дисперсная система «древесина – лед (снег)». В результате анализа известных моделей дисперсных систем предложены зависимости для вычисления эффективных коэффициентов теплоемкости в системах «вода – древесина» и «лед – древесина», эффективной теплоты плавления в системе «лед – древесина», а также коэффициентов теплопроводности для этих систем. Нахождение зависимости температуры в штабеле от пространственной координаты в двухслойной системе «теплоизолятор – штабель» и времени было проведено операционным методом Лапласа по времени. Для нахождения функции написана компьютерная программа на языке МАТЕМАТИКА. Программа допускает варьирование любых исходных данных – времени (момента) укрытия штабеля теплоизолятором и начальной температуры в штабеле, толщины теплоизолирующего слоя и его теплопроводности, конкретной зависимости температуры воздуха от времени и др. Разработанные авторами математическая модель и компьютерная программа для расчета параметров хранения были использованы при внедрении данного способа на Жешартском фанерном комбинате. Мониторинг процесса хранения осуществлялся с помощью температурных датчиков, заложенных внутри штабеля. Производственные опыты в первые два года внедрения данного способа хранения фанерного сырья в объеме 20 000 куб. м. показали его высокую эффективность. Потери качества древесного сырья не наблюдалось. Фактические температуры в процессе мониторинга внутри штабеля и на границе между теплоизолятором и штабелем были близки к расчетным значениям, полученным с помощью разработанных математических моделей.

Ключевые слова: хранение древесного сырья, заморозка, дисперсная система, теплопроводность.

Mathematical model of raw wood storage based on refrigeration and freezing

A.N. Komyakov¹, R.I. Diev¹

¹Moscow State Forest University, 1, 1st Institutskaya str., Mytishi, Russia. E-mail: akomyakov@mail.ru
The article received 3.08.2012, accepted 16.11.2012

Round timber storage provides for wood protection from damage by insects and fungi, as well as from cracking and rotting. Among the known methods, raw wood storage based on refrigeration and freezing is one of the most economical and environmentally friendly.