

дов Фурье функций  $H(\theta)$  и  $H_1(\theta)$ . Для нахождения коэффициентов функций  $H(\theta)$ ,  $H_1(\theta)$  используем принцип наименьших квадратов.

Найденное решение поставленной задачи позволяет на стадиях проектирования и изготовления выбирать микрогеометрию поверхности трения фрикционной пары «барабан-накладка», обеспечивающую равномерное распределение температуры на поверхности контакта. Это дает возможность повысить надежность и долговечность тормозного механизма автомобиля.

#### Список литературы

1 **Mirsalimov, V. M.** Minimization of the thermal state of the hub of a friction pair / V. M. Mirsalimov, P. E. Aknundova // *Engineering Optimization*. – 2018. – Vol. 50, is. 4. – P. 651–670.

2 **Mirsalimov, V. M.** Inverse problem of contact fracture mechanics for a hub of friction pair taking into account thermal stresses / V. M. Mirsalimov, P. E. Aknundova // *Mathematics and Mechanics of Solids*. – 2019. – Vol. 24, is. 6. – P. 1763–1781.

3 **Mirsalimov, V. M.** Optimum problem on wear decrease for a hub of friction pair / V. M. Mirsalimov, P. E. Aknundova // *Mechanics of Advanced Materials and Structures*. – 2020. – Vol. 27, is. 5. – P. 353–363.

4 **Мирсалимов, В. М.** Износостойкая задача о вдавливании колодки с фрикционной накладкой в поверхность барабана / В. М. Мирсалимов, Ш. Г. Гасанов, Ш. Г. Гейдаров // Труды XII Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 80-летию ИМАШ РАН «Трибология – машиностроению». – Москва – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2018. – С. 341–344.

5 **Горячева, И. Г.** Механика фрикционного взаимодействия / И. Г. Горячева. – М.: Наука, 2001. – 478 с.

УДК 539.3

## НАНОИНДЕНТИРОВАНИЕ ПОРОШКОВЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОЛИЭФИРНОЙ И ЭПОКСИДНО-ПОЛИЭФИРНОЙ ОСНОВЕ НА СТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦАХ

*А. Г. ГЕТМАНОВ, М. И. МАРТИРОСОВ, Л. Н. РАБИНСКИЙ*  
*Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

Наноиндентирование – метод, позволяющий определять механические и усталостные свойства различных пленок, покрытий и материалов на наноуровне. Исследования проводились на стальных образцах прямоугольной формы  $5 \times 10$  мм, на которые наносилась порошковая полимерная краска на полиэфирной и эпоксидно-полиэфирной основе от фирм-производителей Akzo Nobel (Голландия) и Teknos (Финляндия) электростатическим распылением в покрасочной камере Gema (Швейцария). Изучались образцы различных цветов по международному каталогу RAL (анализировалась цветовая гамма из 26 покрытий). Перед нанесением покрытий на исследуемые образцы проводилась предварительная подготовка поверхностей: обезжиривание и фосфатирование. Для повышения механических свойств и придания поверхности дополнительной износостойкости и ударопрочности на окрашенную поверхность наносился прозрачный керамический нанолак CeramiClear Deltron D8105 фирмы PPG Industries (США). Этот лак содержит микроскопические керамические частицы, которые беспорядочно плавают в жидком лаке, а затем, затвердевая в печи полимеризации, образуют густую сетчатую структуру, которая выступает в качестве защитного слоя окрашенной поверхности и существенно улучшает её эксплуатационные свойства.

Толщина покрытия (краска + лак) исследуемых образцов составляла  $\sim 60$ – $80$  мкм и контролировалась электронным толщиномером QuaNix 7500 (Германия), предназначенным для измерения толщины покрытия на ферромагнитных и неферромагнитных поверхностях. Для экспериментов использовался измерительный комплекс Nano Test 600 (Великобритания). Приводятся основные характеристики этого комплекса, его техническое описание, рассматривается перечень работ, которые можно проводить на этом комплексе. Предлагается методика и программа проведения экспериментов.

В работе использовались различные типы инденторов (пирамида Берковича, конус со сферическим наконечником и другие). Проводилась топография поверхности лакокрасочных покрытий. Компьютерная система комплекса Nano Test 600 определяла: максимальную глубину проникновения индентора, пластическую деформацию, твердость покрытия по Бринеллю, приведенный модуль упругости (модуль упругости системы: образец + индентор), упругое восстановление, податливость

контакта и ряд других характеристик. Индентирование образцов проводилось в 10 точках с постоянной скоростью 0,05 мН/с до достижения заданной максимальной нагрузки 10 мН. Теоретические расчеты выполнялись с помощью программного обеспечения на основе модели Оливера – Фарра.

Выработаны рекомендации по практическому использованию изучаемых покрытий для придания различным металлическим изделиям промышленного назначения повышенной прочности, износостойкости и долговечности. Выявлено влияние красящих пигментов (химический состав) на исследуемые характеристики образцов с покрытиями.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ № 20-01-00517).*

УДК 622.692.5

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УРОВНЯ ДЕФЕКТНОСТИ СВАРНЫХ ШВОВ НА СТАТИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ

*М. В. ГОРОХОВА*

*Нижегородский филиал Самарского государственного университета путей сообщения,  
Российская Федерация*

В настоящее время в производстве труб для магистральных трубопроводов произошли большие изменения. Наряду с разработкой и созданием труб из перспективных марок стали с пониженным содержанием серы и фосфора продолжают использоваться трубы из традиционных марок стали, изготовленные по улучшенным технологиям. К таким в первую очередь следует отнести прямошовные трубы, изготовленные с одним продольным швом для всех диаметров, и спиральношовные трубы, которые изготавливаются по улучшенным технологиям формирования сварного шва, условий термообработки и содержанию примеси в стали.

Были выполнены теоретическое и экспериментальное исследования по сравнению прочности и долговечности таких труб в условиях одновременного воздействия внутреннего давления и изгиба. Основная задача работы состояла именно в определении и сравнении прочности труб большого диаметра разной технологии изготовления на различных этапах разрушения в условиях повторно-статического нагружения внутренним давлением: инкубационного периода зарождения трещины; развития трещины до критических размеров; инициирование трещины с потерей герметичности трубы.

В рамках выполненного исследования проведена оценка условий разрушения сварных труб. Так как технические условия на производство сварных труб предполагают равнопрочность сварного шва и основного металла трубы, то при статическом испытании внутренним давлением справедливо предполагалось равновероятностное разрушение трубы по сварному шву и основному металлу. Практика испытаний сварных труб показывает, что действительно, при однократном нагружении разрушения труб происходят как по сварным швам, так и основному металлу. При этом разрушение спиральношовных труб по сварным швам практически отсутствуют, а по продольным швам случаи разрушения составляют около 40 % от испытаний.

В таблице 1 приведены данные по результатам испытания прямошовных труб.

*Таблица 1 – Результаты испытаний сварных труб*

№ п/п	Сечение трубы, мм	Марка стали	$R_{\text{разр}}$ , кг/см <sup>2</sup>	$\sigma_{\text{разр}}$ , кг/мм <sup>2</sup>	$\frac{\sigma_{\text{разр}}}{\sigma_{\text{нормат}}}$	Место разрыва относительно продольного шва
1	720×9	17ГС	140	55,3	1,06	В 30 мм от шва
2	720×9	17ГС	140	55,3	1,06	В 115 мм от шва
3	720×9	17ГС	158	62,5	1,20	В 215 мм от шва
4	720×9	17ГС	145	57,3	1,10	В 460 мм от шва
5	530×7,5	17ГС	125	43,6	0,84	По сварному шву
6	530×7,5	17ГС	132	46,0	0,88	Противопол. обр.
7	530×9	14ХГС	160	46,3	0,89	Противопол. обр.
8	530×9	14ХГС	158	45,6	0,88	Около шва
9	530×7	10Г2С1	135	50,5	0,97	Около шва
10	530×7	10Г2С1	135	50,5	0,97	Около шва