

3. Кошелев А.А., Эйзнер Л.А. Технологии и оборудование для автоматизированной гидроабразивной обработки деталей // Автоматизация технологических процессов в области машиностроения для животноводства и кормопроизводства. – Ростов-на-Дону: НИИТМ, 1981.

4. Банников И.И., Финкель Г.Н., Хейфец В.Л. Механизация очистки и окраски подводной части судов. – Л.: Судостроение, 1980. – 116 с.

5. Устройство для очистки от коррозии плоской стальной поверхности: пат. №16526, Респ. Беларусь, МПК В 08В 3/00; В 63В 59/08 / И.В. Качанов, А.Н. Жук, В.Н. Шарий, Р.О. Мяделец; дата публ. 30.10.2012.

6. Пат. Российской Федерации RU 2 231 554 С2 МПК В 24 С 5/04, 9/00. Устройство для абразивно-струйной обработки поверхности. / Крючков В.П., Бугаев В.С., Кулаков В.В., Клестов Ю.М., Клепиков С.А., заявка 2005136900/02 от 28.11.2005, опубликовано 20.11.2007. – Бюл. № 32.

7. Пат. Российской Федерации RU 2 237 127 С2, МПК В 24 С 5/04. Устройство для струйно-абразивной обработки поверхности. / Кондрашов Б.И., заявка 2004136895/02 от 17.12.2004, опубликовано 20.12.2009. – Бюл. № 35.

8. Качанов И.В. Теоретические исследования процесса реверсивно-струйной очистки судовых поверхностей от коррозии / Качанов И.В., Жук А.Н., Ключников В.А., Кособуцкий А.А., Шаталов И.М., Ковалевич В.С., Качанова Е.В. // *Materials XIV Miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, «Nauka i inowacja – 2018».* – Volume 2 *Przemysł: Nauka i studia.* – 84 s.

УДК 621

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРЕНИЯ ТОНКИХ ПОКРЫТИЙ НА АСМ**

*Кузнецова Т.А., Рысик А.Н.*

*Белорусский национальный технический университет*

В процессе эксплуатации деталей и приборов микромасштаба возникает необходимость исследования состояния и свойств поверхностей, которые испытывают воздействие фрикционной нагрузки. Механизмы процессов трения на наноуровне отличаются необходимостью учета адгезионных, капиллярных и межмолекулярных сил и существенно отличаются от макроскопических. Контакт деталей микромасштаба представляет собой взаимодействие отдельных микронеровностей [1]. Экспериментальным моделированием такого взаимодействия является контакт острия зонда атомно-силового микроскопа (АСМ) с неровностями поверхности детали. Особенно актуально испытание на трение с использованием АСМ для тонких покрытий толщиной 100-300 нм, где макроиспытания часто вызывают деформацию подложки и разрушение покрытий. Для изучения сил и коэффициентов трения в данной работе использовался АСМ НТ-206 (Беларусь).

Исследование проводили в контактном режиме с использованием стандартного кремниевого кантилевера NSC11 V-образного типа с коэффициентом жесткости консоли 3 Н/м производства «Микромаш» (Эстония). Предварительно зонд «затупляли» до диаметра закругления 100 нм для обеспечения стабильности размера контакта в процессе испытаний. Использовали двухпроходную методику режима латеральных сил при многоцикловом (200 циклов) сканировании площади 20×3 мкм. Испытания на трение проводилось на многослойных пленках состава AlN/SiN с общей толщиной 300 нм. В работе исследовали влияние режимов отжига покрытий на коэффициент трения поверхности.

График полученных зависимостей коэффициента трения покрытий от числа циклов можно наблюдать на рисунке 1.

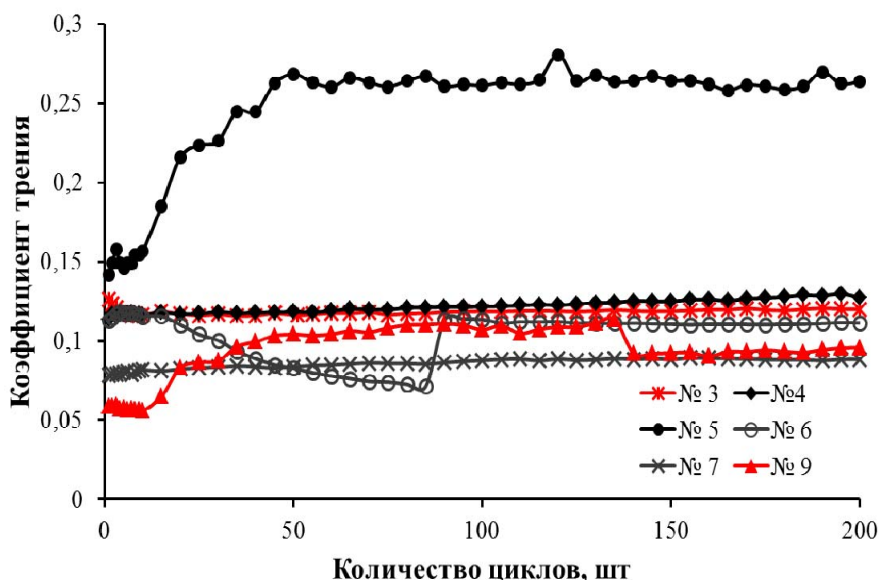


Рисунок 1 – График зависимости коэффициентов трения от числа циклов

На графике видно, что самый высокий коэффициент трения имеет образец №5. Кривая постепенно возрастает до значения 0,235 и после 50 цикла почти не изменяется. У образца 6 до 85 цикла происходит уменьшение коэффициента трения до значения 0,105, после которого происходит его резкое увеличение. Можно предположить, что был снят первый слой многослойного покрытия. То же можно сказать и про образец №9. Коэффициент трения образцов №3, №4 и №7 медленно возрастает на всем графике.

С помощью метода многоциклового трения было изучено изменение коэффициента трения образцов многослойных пленок AlN/SiN после различных температур (800 и 1000°C) и времени отжига (1 и 3 часа). Представлен график зависимости коэффициентов трения от числа проведенных циклов. В работе было показано, что при добавлении Si к покрытию AlN термообработкой можно как увеличить коэффициент трения поверхности покрытия (образцы №4, №5, №6), так и уменьшить его (образцы №7, №9).

#### Список использованных источников

1. Кузнецова Т.А. Изменение морфологии поверхности нанокристаллических пленок Al-Si-N под действием отжига / Т.А. Кузнецова [и др.] // Методолог. аспекты скан. зонд. микроскопии: сб. докл. XII Междунар. конф., Минск, 18-21 окт. 2016 г. – Минск: Беларуская навука, 2016. – С. 66-70.
2. Шиманский В.И. Структура и трибологические свойства покрытий AlSiN после термического отжига на воздухе / В.И. Шиманский, Н.Т. Квасов, Т.А. Кузнецова, Н.А. Кананович // Взаимод. излуч. с тв. телом (ВИТТ – 2017) Материалы 12-й Междунар. конф., 2017. – С. 420-422.

УДК 658.7

### ФОРМИРОВАНИЕ ЗВЕНЬЕВ И ГРАНИЦ МИКРОЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Лапковская П.И.*

*Белорусский национальный технический университет*

На современном этапе развития промышленности актуальной задачей является скорейшая адаптация субъектов хозяйствования к условиям рынка. Сегодня данная отрасль характеризуется слабой синхронизацией процессов производства с процессами