

## Список использованных источников

1. Карасев Е.И., Киселев И.Ю., Мерсов Е.Д., Киселева Г.В. Водостойкость древесноволокнистых плит: Обзор инф. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1986. – 32 с.
2. Бекетов В.Д., Обседшевская Г.Н. Развитие сухого способа производства древесноволокнистых плит за рубежом: Обзор инф. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1979. – С. 1-40.
3. Демченко Н.С. Производство водостойких и огнеупорных древесных плит / Древесно-волокнистые плиты / Труды Всесоюзной науч.-техн. конф. по производству и применению древесноволокнистых материалов и пластиков, г. Архангельск: Под ред. к.т.н. Б.Д. Богомолова, ГНТК СССР, – М. – 1961. – С. 111-118.
4. Гамова И.А., Царев Г.И., Просвирин И.А. Композиция таллового масла и полиизоцианатов для водостойких ДВП // Древесные плиты: теория и практика / Под. ред. Леоновича А.А.: 8-я Междунар. науч.-прак. конф., 23-24 марта 2005 г. – СПб, 2005. – С. 46-50.
5. Гаврилюк С.Ф., Галкин П.В. Гидрофобизация древесных плит парафиновой эмульсией «Эрговакс-60» // Древесные плиты: теория и практика / Под. ред. Леоновича А.А.: 12-я Междунар. науч.-прак. конф., 18-19 марта 2009 г. – СПб, 2009. – С. 178-179.
6. Богачев Д.А. Перспективы применения восковых нанодисперсий для гидрофобизации древесных материалов // Состояние и перспективы развития производства древесных плит / Под ред. Гнутовой Е.П.: сборник докладов 19-й международной науч.-прак. конф. 16-17 марта 2016 г. – Балабаново, 2016. – С. 127-131.

УДК 547.32:539.23

**З.С. Гурина**

Институт химии новых материалов Национальной академии наук Беларуси  
Минск, Беларусь

## ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОСЛОЕВ НА ОСНОВЕ НЕНАСЫЩЕННЫХ ЖИРНЫХ КИСЛОТ

*Аннотация.* Исследованы трибологические свойства монослоев на основе олеиновой и эруковой кислот полученных на кремниевой поверхности методами окунания «*dip-coating*» и Ленгмюра-Блоджетт (ЛБ). Установлено, что монослои

*ЛБ стабильнее к механическому воздействию стального шарика — индентора, чем покрытия, полученные методом окунания.*

**Z.S. Gurina**

Institute of Chemistry of New Materials of the National Academy  
of Sciences of Belarus  
Minsk, Belarus

## **TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF MONOLAYERS BASED ON UNSATURATED FATTY ACIDS**

***Abstract.** The tribological properties of monolayers based on oleic and erucic acids obtained on a silicon surface by dip-coating and Langmuir-Blodgett (LB) methods have been studied. It was found that LB monolayers are more stable to the mechanical effects of a steel ball — indenter than coatings obtained by dip-coating.*

**Введение.** Микроэлектромеханические системы (МЭМС) широко применяются в различном оборудовании, начиная с малогабаритных устройств, таких как телефоны и ноутбуки, и заканчивая аэрокосмической и военной техникой [1]. Физические размеры МЭМС могут варьироваться от 20 микрон до одного миллиметра. Они изготовлены из компонентов размером от 1 до 100 микрон. В случае микросистем отношение площади поверхности к объему велико, поэтому на работоспособность МЭМС существенно влияет износ, который происходит внутри контактирующих материалов, что приводит к снижению производительности и срока службы данных устройств [1, 2].

Кремний, который является наиболее используемым материалом прецизионных узлов трения МЭМС, подвержен быстрому истиранию из-за низкой ударной вязкости и отсутствия естественной смазки [2]. Минимизации трения и износа деталей машин и механизмов можно добиться за счет использования защитных покрытий на основе соединений природного происхождения [1, 2]. В качестве таких веществ могут быть использованы жирные кислоты, которые содержатся в рыбьем жире, кунжуте, какао, рапсе, пшенице и др. продуктах [3, 4].

Для формирования защитных покрытий микроэлектромеханических систем (МЭМС) используются различные методы, такие как центрифугирование «spin-coating», окунание «dip-coating», самоорганизация, Ленгмюра-Блоджетт (ЛБ) и т. д. [1, 5]. Защитные моно- и мультислои, полученные по технологии ЛБ, находят разнообразное применение в различных областях науки и техники. Преимущество данной технологии — незначительные экономические затраты, не требует вакуумирования и высоких температур.

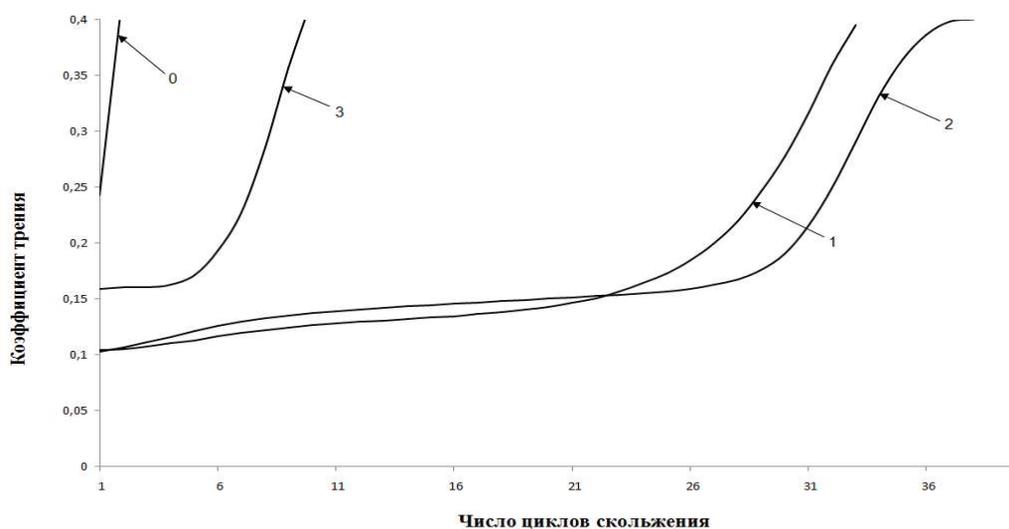
Цель данной работы сформировать защитные покрытия для МЭМС на основе олеиновой (ОК) и эруковой (ЭК) кислот и исследовать их трибологические свойства.

**Материалы и методы.** В качестве подложки для формирования покрытий ОК и ЭК использовали прямоугольные пластины монокристаллического кремния, которые предварительно подвергали гидрофилизации в растворе «пираньи» ( $\text{H}_2\text{O}_2$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в соотношении 1:2,5 по объему) в течение часа при температуре  $60^\circ\text{C}$ . Монослой ЛБ на основе ОК и ЭК формировали методом горизонтального осаждения [5], при поверхностном давлении, которое соответствует фазовому состоянию ленгмюровского слоя «твердая пленка»  $18 \text{ мН/м}$  на установке LT-103 (ОДО «Микротестмашины», Республика Беларусь) используя растворы ОК и ЭК в хлороформе с концентрацией  $0,1 \text{ мг/мл}$ . В качестве субфазы использовали дистиллированную воду температурой  $25,0^\circ\text{C}$  с  $\text{pH } 5,5$ . Монослой ЭК формировали также методом окунания подложки в её раствор в хлороформе с аналогичной концентрацией, скорость перемещения подложки  $0,045 \text{ мм/с}$ .

Триботехнические испытания покрытий осуществляли на микротрибометре возвратно-поступательного типа, который наиболее точно воспроизводит малые контактные нагрузки и скорости скольжения узлов трения МЭМС. Условия трибоиспытаний: приложенная нагрузка –  $1,0 \text{ Н}$ , индентор – стальной шарик диаметром  $3,0 \text{ мм}$  (сталь 95Х18), длина хода индентора –  $3,0 \text{ мм}$ , его линейная скорость –  $4,0 \text{ мм/с}$ . Тестирование образцов прекращали при достижении значений коэффициента трения ( $k_f$ )  $\sim 0,4$  [2]. Толщину полученных монослоев оценивали, анализируя профиль сечения поверхности через искусственно созданный дефект в их структуре. По данным атомно-силовой микроскопии толщина мономолекулярных слоев ОК и ЭК не превышает  $2 \text{ нм}$ .

**Результаты и обсуждение.** На графике зависимости коэффициента трения от числа циклов скольжения (рис. 1) представлены данные по трибологическим свойствам монослоев на основе олеиновой и эруковой кислот, полученных методом ЛБ и окунанием. Кремниевая подложка без покрытия разрушается в течение одного цикла скольжения. Монослой ненасыщенных жирных кислот уменьшают коэффициент трения ( $k_f$ ) кремниевой поверхности в  $2,5$  раз и выдерживают  $35$  и  $40$  циклов скольжения стального шарика соответственно до достижения значения  $k_f 0,4$ . В то время как монослой ЭК, полученный методом окунания, удаляется из зоны контакта поверхностей после  $6$  циклов. Таким образом, трибологические

свойства монослоев ЛБ мононенасыщенных жирных кислот улучшаются при увеличении длины алкильной цепи их молекул, причем метод горизонтального осаждения позволяет сформировать более упорядоченные и однородные монослои по сравнению с покрытиями полученными методом окунания.



**Рис. 1 – Зависимость коэффициента трения от числа циклов скольжения: 0 – поверхность кремния без покрытия; 1 – монослой ОК, 2 – монослой ЭК, полученные методом ЛБ; 3 – монослой ЭК, полученный методом окунания**

**Заключение.** Исследованы трибологические свойства покрытий на основе олеиновой и эруковой кислот, сформированных на кремниевой поверхности методом окунания и по технологии Ленгмюра-Блоджетт. Установлено, что монослои ЛБ стабильнее к механическому воздействию индентора, чем покрытия, полученные методом окунания. Монослои олеиновой и эруковой кислот, полученные методом ЛБ, выдерживают до 40 циклов скольжения.

Тонкопленочные материалы на основе монослоев ЛБ олеиновой и эруковой кислот могут быть использованы в качестве защитных покрытий в узлах трения микроэлектромеханических устройств.

### **Список использованных источников**

1. A. Abdelbary, Li Chang Introduction to engineering tribology / Abdelbary A., Chang Li // Principles of Engineering Tribology, – 2023. – P. 1 – 32;
2. Покрытия Ленгмюра-Блоджетт на основе мононенасыщенных жирных кислот / Ю. В. Синькевич [и др.] // Central asian food engineering and technology. – 2023. – Vol.1, № 3. – P. 54–62;

3. Олеиновая кислота. Свойства и применение олеиновой кислоты [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.umeks.ru/articles/oleinovaya-kislota-svoystva-i-primeneniye-oleinovo-y-kisloty/> (дата обращения 28.06.2023);

4. Эруциновая кислота [Электронный ресурс] / Режим доступа: [https://www.atamanchemicals.com/erucic-acid\\_u25887/?lang=RU](https://www.atamanchemicals.com/erucic-acid_u25887/?lang=RU) (дата обращения 19.10.2023);

5. A.E. Salamianski, V.E. Agabekov // Tribological Properties of Composite Langmuir–Blodgett coatings of oleic acid with molybdenum disulfide nanoparticles // International Journal of Nanoscience – 2019 – Vol. 18, № 3 & 4 – P. 1940068-1 – 1940068-3.

УДК 669-155.4

**М.Д. Гушин, Д.В. Остальцева, Е.А. Маринин, А.С. Погудина**  
Вятский государственный университет  
Киров, Россия

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОЦЕССА ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ НА ВЕЛИЧЕНУ ГЛУБИНЫ И ТВЕРДОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОГО СЛОЯ**

*Аннотация.* Одним из перспективных направлений повышения физико-механических свойств металлов является импульсное лазерное излучение. В статье представлены результаты лазерного упрочнения валов из коррозионностойкой стали 14X17H2.

**M.D. Gushchin, D.V. Ostaltseva, E.A. Marinin, A.S. Pogudina**  
Vyatka State University  
Kirov, Russia

## **RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE INTENSITY OF THE PULSE LASER PROCESSING PROCESS ON THE VALUATION OF THE DEPTH AND HARDNESS OF THE MODIFIED LAYER**

*Abstract.* One of the promising directions for improving the physical and mechanical properties of metals is pulsed laser radiation. The article presents the results of laser hardening of shafts made of corrosion-resistant steel 14X17H2.

Поиски и исследования инновационных методов обработки с целью повышения эксплуатационных свойств будущего изделия всегда