

Таблица 3 – Значения удельной поверхностной энергии фотополимера Nova3D, модифицированного ГПС

Параметр	Значения при концентрации модификатора, % мас.			
	0	0,1	0,6	2,0
Угол смачивания вазелинового масла, град	37,52	26,90	16,10	23,95
Угол смачивания водой, град	85,61	77,74	81,23	70,22
Работа адгезии вазелинового масла, мДж	53,79	56,75	58,82	57,42
Работа адгезии воды, мДж	77,47	87,24	82,93	96,31
Дисперсионный компонент поверхностной энергии, мДж/м ²	0,13	1,24	0,03	4,80
Полярный компонент поверхностной энергии, мДж/м ²	32,05	46,73	34,96	66,87
Поверхностная энергия, мДж/м ²	32,19	47,97	34,98	71,67

Исследования проведены в рамках выполнения проекта БРФФИ № T21PM-169.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Fundamentals of wettability / W. Abdallah [et al.] // Oilfield Review. – (2007). – 19 (2). – 44–61.
2. Puliyalil H. Recent advances in the methods for designing superhydrophobic Surfaces / H. Puliyalil, G. Filipic, U. Cvelbar // Surfaces Energy / Edited by M/ Aliotkhazraei. – 2015. – December 16th. – P. 311–335.
3. Dispersibility of hydrophilic and hydrophobic nanosilica particles in polyethylene terephthalate films: evaluation of morphology and thermal properties / M. Parvinzadeh Gashti [et al.] // Polymers and Polymer Composites. – 2015. – Vol. 23 (5). – P. 285–295.
4. Zou H. Polimer / silica nanocomposites: preparation, characterization, properties, and applications / Hua Zou, Wu Shishan, Jian Shen // Chemical reviews (American chemical society). – 2008. – Vol. 108 iss: 9. P. 3893–3957.

УДК 621.794.6

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

**Овчинников Е. В.¹, Хвисевич В. М.², Эйсымонт Е. И.¹, Веремейчик А. И.²,
Исраа Акрам¹**

*1) Гродненский государственный университет им. Янки Купалы,
г. Гродно, Республика Беларусь*

*2) Брестский государственный технический университет,
г. Брест, Республика Беларусь*

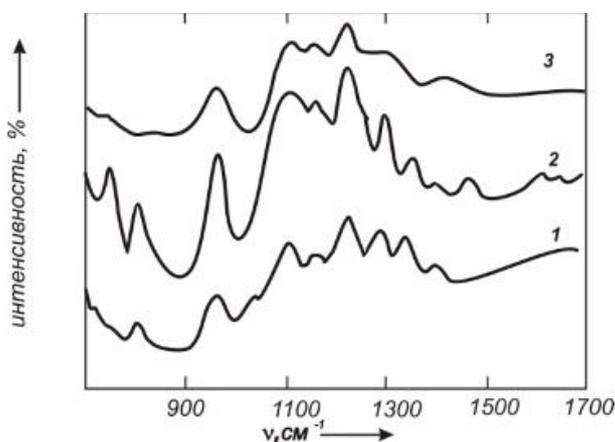
Тонкопленочные ингибиторы изнашивания трибосистем, сформированные из активной газовой фазы, растворов, ротапринтными и плазмохимическими методами, широко применяют в триботехнике, в т. ч. прецизионной [1–4].

Несмотря на различие технологий формирования фторсодержащих покрытий (ФСР), отличающихся составом, структурой и геометрическими параметрами, существуют общие закономерности проявления механизма их антифрикционного и противоизносного действия, обусловленные спецификой молекулярного и надмолекулярного строения. Низкий уровень межмолекулярного взаимодействия во фторсодержащих полимерных и олигомерных компонентах способствует низким значениям тангенциального сдвига поверхностных слоев в изделиях из композиционных материалов или в покрытиях на поверхностях фрикционного контакта. Одновременно эта характерная особенность строения фторсодержащих соединений обуславливает повышенный износ изделий из-за низкой способности продуктов фрикционного диспергирования к адгезионному закреплению на поверхностях трения и формированию устойчивой разделительной пленки [1–4].

Для повышения параметров триботехнических характеристик фторсодержащие полимерные и олигомерные матрицы модифицируют компонентами различного состава, дисперсности, строения и механизма действия, а также подвергают энергетическим воздействиям с помощью лазерных, ионизирующих, тепловых и др. источников. Различные методы модифицирования позволяют управлять параметрами структурных характеристик, которые определяют параметры деформационно-прочностных, триботехнических, адгезионных, теплофизических и др. служебных характеристик композитов.

Представляет научный и практический интерес установление характерных механизмов модифицирующего действия различных функциональных компонентов в композиционных покрытиях на основе фторсодержащих олигомеров, нашедших широкое распространение в практике эксплуатации трибосистем автотракторной, железнодорожной и специальной техники.

Исследование структуры слоев фтороксидов, адсорбированных на подложке из электролитического хрома, модифицированного ультрадисперсными кластерами синтетического углерода, проводили с использованием метода инфракрасной спектроскопии многократно нарушенного полного внутреннего отражения (ИКС МНПВО). Спектры исходных фтороксидов представлены на рисунках 1–4. В таблице 1 приведены основные полосы поглощения, наблюдающиеся в спектрах Ф1, Ф14 и ФА.

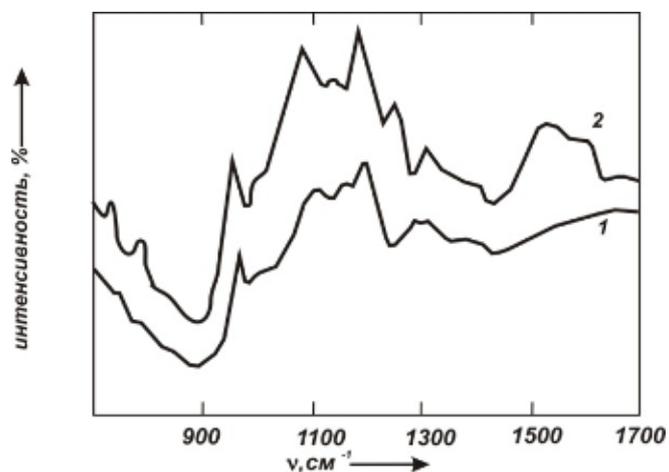


1 – Ф-А (1 обр.); 2 – Ф-1 (1 обр.); 3 – Ф-14 (1 обр.)

Рисунок 1 – ИК-спектры поглощения фторсодержащих олигомеров, нанесенных на подложку из электролитического хрома, модифицированную ультрадисперсными кластерами алмаза

Таблица 1 – Основные полосы поглощения фторсодержащих олигомеров на подложке из электролитического хрома, модифицированного ультрадисперсными кластерами синтетического углерода

Максимумы полос поглощения в спектрах фторсодержащих олигомеров различных марок, см ⁻¹		
Ф-1	Ф-14	Ф-А
980	–	980
1000	1000	1000
1050	–	1050
1	2	3
1120	–	1120
–	1130	–
–	1150	–
1180	–	1180
–	1210	–
1230	–	1230
–	1245	–
1300	–	–
–	–	1305
–	1340	–
1360	–	1360
–	1370	–
1450	–	1450
–	–	1590
1640	–	–
1680	–	1680
1730	–	–
–	–	1740



1 – Ф-14 (3 обр.); 2 – Ф-А (3 обр.)

Рисунок 2 – ИК-спектры поглощения фторсодержащих олигомеров, нанесенных на подложку из электролитического хрома, модифицированного ультрадисперсными кластерами алмаза

Основные полосы поглощения фторсодержащих олигомеров (ФСО) Ф1, Ф14 и ФА находятся в области волновых чисел от 700–1700 см⁻¹. Полоса поглощения при 900 см⁻¹ может быть отнесена к поглощению CF₃- групп макромолекул

ФСО. Полосы поглощения в области $1130-1340\text{ см}^{-1}$ принадлежат колебаниям связей С–F и С–F. В отличие от ФА и Ф1, в спектре Ф14 на подложке из электролитического хрома, модифицированного ультрадисперсными кластерами синтетического углерода, наблюдается дополнительная полоса в области 1340 см^{-1} . Согласно литературным данным, эта полоса поглощения не наблюдается при нанесении Ф14 на подложки из меди, алюминия, железа.

Для фолеокса ФА, нанесенного на хромалмазную подложку, в области $1580-1660\text{ см}^{-1}$ наблюдается интенсивная, размытая полоса поглощения, которую можно отнести к поглощению аминных групп NH_2 ; N. Интенсивная полоса 1680 см^{-1} , которая наблюдается при нанесении Ф1 на медную, железную подложки и авторами идентифицируется как полоса поглощения, принадлежащая солям металла – $(\text{COO})_2\text{Me}$, фактически не проявляется. Слабая полоса поглощения при 780 см^{-1} отнесена к поглощению групп CF_3 в аморфных областях. Увеличение толщины покрытия ФСО приводит к повышению контрастности спектров МНПВО ФСО.

При этом следует отметить неоднозначность изменения оптических плотностей полос поглощения с увеличением толщины слоя ФСО (таблица 2), что свидетельствует об оптической неоднородности слоев ФСО разной толщины и может быть объяснено ориентационной неоднородностью фолеоксов в зависимости от толщины слоя.

Поляризационные исследования показывают, что с увеличением толщины слоя ФСО на подложке из модифицированного хрома вектор момента колебательного перехода связей CF изменяет преимущественную ориентацию с параллельной относительно подложки на перпендикулярную. Следовательно, укладка макромолекул в тонких слоях до $0,1\text{ мкм}$ осуществляется перпендикулярно подложке.

Дихроизм полос поглощения групп CF, CF_2 – в спектрах фолеоксов на щелочно-галлоидных подложках близок к единице, следовательно, ориентация ФСО на хромалмазной подложке вызвана влиянием последней. Расчет дихроизма полос поглощения в зависимости от количества слоев N показывает (таблица 2), что характер функции $R(N)$ немонотонный (рисунок 3). Наблюдаются ярко выраженные точки экстремума. Причем на вид экстремума существенное влияние оказывает марка фолеокса, т. е. строение молекулы олигомера.

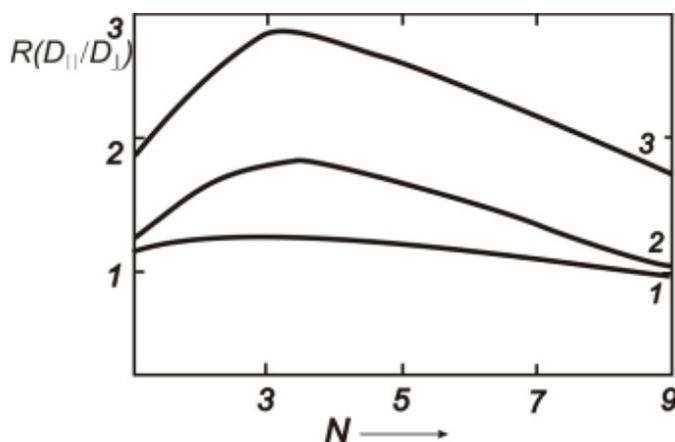


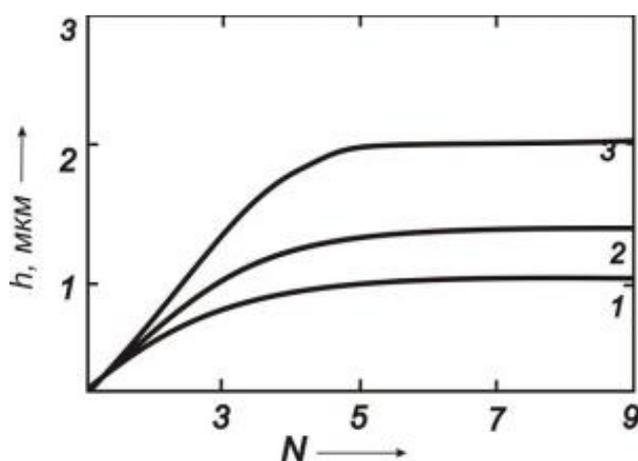
Рисунок 3 – Зависимость дихроизма полосы поглощения 1120 см^{-1} от количества обработок фторсодержащим олигомером подложки из электролитического хрома, модифицированного ультрадисперсными кластерами синтетического углерода

Таблица 2 – Зависимость дихроизма полос поглощения фторсодержащих олигомеров на хромалмазных подложках от количества слоев покрытия

Частота, ν , см^{-1}	1 слой		3 слоя	
	Оптическая плотность, D	Дихроизм, R	Оптическая плотность, D	Дихроизм, R
980	0,552	0,643	0,211	1,303
1000	0,840	1,039	0,486	0,641
1040	–	–	0,160	2,417
1050	0,590	1,243	–	–
1120	0,179	1,467	–	–
1125	–	–	0,405	1,578
1180	0,132	1,582	0,316	1,895
1230	0,198	1,301	0,447	1,469
1305	0,111	2,000	0,236	2,233
1360	0,100	0,965	0,136	1,467
1450	0,030	0,667	0,044	1,235
1590	1,073	0,965	0,535	1,126
1680	1,021	0,091	0,725	1,547
1725	–	–	1,519	1,141
1740	1,093	0,757	–	–

Исследования по определению толщины фолеокса ФА показали, что толщина покрытия растет до значений 1 мкм (рисунок 4), соответствующей третьей обработке.

Дальнейшее нанесение пленки фолеокса из раствора не ведет к значительному росту толщины покрытия, т.е. увеличение количества обработок после достижения максимальной толщины покрытия фторсодержащих олигомеров приводит к образованию более деформированной поверхности, которая и обуславливает уменьшение значений R. Такое поведение на хромалмазной подложке характерно для всех исследуемых фолеоксов.



1 – ФА; 2 – Ф1; 3 – Ф14

Рисунок 4 – Зависимость толщины покрытия фторсодержащего олигомера h на подложке из электролитического хрома, модифицированного ультрадисперсными кластерами синтетического углерода, от количества обработок

Необходимо отметить, что наиболее толстые покрытия на хромалмазных подложках формирует флорекс Ф14, толщина которых после десяти обработок достигает до 2,2 мкм, в то время как полярные флорексы Ф14 и ФА формируют покрытия до 1 мкм.

По-видимому, полярные группы, осаждаются на активных центрах хромалмазных покрытий, уменьшают действие силового поля поверхности, в результате чего снижается толщина формируемого покрытия.

Обычно нанесение фторсодержащих олигомеров на металлические подложки приводит к ориентационным эффектам. Одним из механизмов, объясняющих эффект ориентации ФСО на поверхности металла, является то, что в процессе механической обработки свойства и структура поверхностных слоев коренным образом изменяются. Характер этих изменений, как ранее отмечалось, распространяется нередко на значительную глубину (до нескольких микрон) и зависит от исходных свойств металла, метода механической обработки и режима.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Овчинников, Е. В. Тонкие пленки фторсодержащих олигомеров: основы синтеза, свойства и применение / Е. В. Овчинников, В. А. Струк, В. А. Губанов. – Гродно : ГГАУ, 2007. – 326 с.

2. Рогачев, А. В. Тонкие вакуумные полимерные покрытия: обзор информ. / А. В. Рогачев, О. И. Палий, П. Д. Петрашенко. – Гомель. Гомельский политех. ин-т. 1988. – 43 с.

3. Наноконпозиционные электролитические покрытия / С.Д. Лещик [и др.] // Инженерия поверхности. Новые порошковые композиционные материалы. Сварка: В 2 ч. Матер. междунар. симп., провод в рамках 13-й междунар. выставки «Порошковая металлургия – 2011», 9-й междунар. выставки «Сварка и резка – 2011», междунар. спец. салона «Защита от коррозии. Покрытия – 2011», Минск, 23-25 марта 2011 / Институт порошковой металлургии ГНО ПМ НАН Беларуси, 2011. – Ч. 2. – С. 58–62.

4. Заявка а 20130106, Республика Беларусь, МПК С 25D 15/00 (2006.01), С 23F 11/08 (2006.01). Способ получения композиционного покрытия на основе электролитического хрома / В. А. Струк [и др.]; заявитель Учреждение образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы» – № а 20000463; заявл. 28.01.2013; опубл. 30.08.2014. Бюл. № 4. – 1 с.

УДК 669.539.620+534.29

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ПРОЦЕСС РКУП И СВОЙСТВА ПОЛУЧАЕМЫХ ОБРАЗЦОВ

*Рубаник В. В., Рубаник В. В. мл., Ломач М. С., Дородейко В. Г., Луцко В. Ф.
Институт технической акустики НАН Беларуси,
г. Витебск, Республика Беларусь*

Разработка методов объемного наноструктурирования металлических материалов является актуальным направлением современного материаловедения. При этом особенности наноструктурированных материалов определяются ме-

202