

УДК 621.892.9

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СМАЗОЧНОЙ СРЕДЫ НА СТРУКТУРУ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ФОРМИРУЮЩЕЙСЯ ПРИ ТРЕНИИ СЕРВОВИТНОЙ ПЛЕНКИ

© 2019 г. В. Э. Бурлакова¹, Е. Г. Дроган^{1, *}, А. А. Новикова¹, М. А. Беликова¹

¹Донской государственной технической университет, 344000 Ростов-на-Дону, Россия

*E-mail: ekaterina.drogan@gmail.com

Поступила в редакцию 27.03.2018 г.

После доработки 27.06.2018 г.

Принята к публикации 27.06.2018 г.

Изучены трибологические характеристики пары трения латунь–сталь в водных растворах карбоновых кислот предельного ряда. Выявлено, что при увеличении длины углеводородного радикала в молекуле кислоты, используемой в качестве органического компонента смазочной композиции при трении латуни по стали, снижается коэффициент трения и уменьшается износ. Определено, что в процессе фрикционного взаимодействия на трибосопряженных поверхностях формируется сервовитная пленка. При переходе в ряду одноосновных карбоновых кислот R–COOH ($R = C_nH_{2n+1}$, $n = 0–5$), используемых в качестве смазочной среды, от муравьиной кислоты к капроновой уменьшается шероховатость поверхности пленки и увеличивается ее сплошность. Показано, что сервовитную пленку формируют нанокластеры меди преимущественно эллипсоидальной формы высотой до 40 нм, плотно прилегающие друг к другу и направленные вдоль скольжения контртела.

Ключевые слова: нанокластеры меди, сервовитная пленка, шероховатость поверхности, безызносное трение, избирательный перенос, коэффициент трения, нанотрибология.

DOI: 10.1134/S0207352819040061

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия многочисленные исследования в области машиностроения направлены на изучение процессов трения и изнашивания материалов, а также на возможность управления ими для обеспечения эффективного функционирования машин и механизмов. Особое внимание в процессе фрикционного взаимодействия пары трения уделяется таким факторам, как температура, нагрузка, скорость скольжения, поскольку они оказывают решающее влияние на поведение трибосистемы в целом, а также инициируют трибоэлектрохимические реакции в зоне контакта.

Важно отметить, что уже сейчас внедрены успешные методы контроля износа и снижения коэффициента трения. Однако следует учитывать, что многие из них основаны на формировании защитных пленок на поверхностях трибоконтакта в процессе фрикционного взаимодействия. В связи с этим необходимо рассматривать не только внешние факторы, действующие на систему трения, но и структурные и фазовые превращения, происходящие в поверхностных слоях трения, их морфологию и химический состав.

Таким образом, сопротивление разрушению поверхности вследствие трения и износа может

быть повышено путем изменения морфологии поверхности антифрикционных материалов [1–7]. Одним из эффективных подходов снижения силы трения между контактирующими поверхностями, особенно в эпоху развития нанотехнологий и “зеленой” трибологии, является создание текстурированных поверхностей. Ввиду значимости данного подхода как эффективного инструмента для улучшения трибологических характеристик пары трения было бы полезно также учитывать параметры шероховатости поверхности трения [8–10].

Шероховатость поверхности любого антифрикционного металлического покрытия оказывает особое влияние на износ материала в условиях граничной смазки или граничного трения. Кроме того, силы трения в таких системах в основном противодействуют поверхностным силам, таким как адгезия и электростатические силы, которые в значительной степени зависят от геометрии контакта поверхности и ее механических характеристик [11–13].

В связи с этим целью исследования было изучение влияния состава смазочной среды на морфологию и топографию формирующейся в системе “латунь–водный раствор карбоновой кислоты–

Таблица 1. Элементный состав стали 40X и латуни 59

Элементный состав стали 40X, мас. %								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Fe	N
0.407	0.255	0.597	<0.001	0.023	1.008	0.029	97.31	<0.001
Ni	Al	Cu	Co	Nb	Ti	W	B	Sn
0.08	0.026	0.199	0.024	0.0072	<0.001	<0.01	0.00017	0.016
Элементный состав латуни Л59, мас. %								
Co	Pb	Zn	P	Si	Al	Ni	Cu	S
0.020	0.011	41.44	0.049	0.042	0.0065	0.026	58.36	0.014
Sn	Mn	Cr	Fe					
<0.005	<0.01	<0.001	< 0.01					

сталь” сервовитной пленки при избирательном переносе в процессе трения.

МЕТОДИКИ

Трибологические характеристики пары трения латунь–сталь исследовали на машине трения торцевого типа АЕ-5 при осевой нагрузке 98 Н в течение 36000 с. Узел трения представлял собой жестко закрепленный диск из стали 40X и три подвижных контртела из латуни Л59, расположенных под углом 120° друг относительно друга на окружности диаметром 45 мм. При каждом экспериментальном исследовании площадь трибоконтакта составляла 58.875 мм². Скорость вращения подвижных образцов 180 об./мин. Перед проведением трибологических испытаний образцы зачищали шлифовальной бумагой, обезжиривали гексаном и высушивали на воздухе при температуре 25°С. Смазочную композицию помещали в рабочую часть машины трения, изготовленную в виде ванны из текстолита, в которую вставляли пару трения из кольцевого стального образца и пальцев из латуни.

Для определения износа пары трения стальной образец и три пальца из латуни взвешивали на аналитических весах ЛВ 210-А с точностью 0.001 г до и после трибологических исследований. Износ определяли по изменению массы всей пары трения.

Для вычисления коэффициента трения в процессе трибологических испытаний непрерывно измеряли окружную силу с помощью датчика силы марки РНУВЕ Cobra 4 с точностью 2 мН, затем рассчитывали коэффициент трения по формуле [14]:

$$f = \frac{F_{\text{тр}} l_1}{P l_2},$$

где $F_{\text{тр}}$ – окружная сила [Н]; l_1 – расстояние от точки прикрепления пружины датчика силы к ры-

чагу до оси вращения [м]; l_2 – расстояние между осью вращения и центрами пальцев [м]; P – сила прижатия (или осевая нагрузка на пальцы) [Н].

Химические составы образцов стали 40X и латуни 59 соответствовали ГОСТ 4543-71 и ГОСТ 15527-70, а также подтверждены исследованиями с помощью оптико-эмиссионного анализатора Qantron Magellan (Magellan Q8) фирмы Bruker, позволяющего определить процентное содержание элементов сплавов на основе железа, меди, алюминия с точностью до сотых долей процента (табл. 1). Калибровку установки осуществляли с помощью эталонных образцов различных сталей и бронзы. В качестве органического компонента смазочной композиции использовали одноосновные карбоновые кислоты предельного ряда с общей формулой R–COOH ($R = C_n H_{2n+1}$, $n = 0-5$) с концентрацией 0.1 моль/л.

Для визуализации топографии поверхности и определения размера и формы частиц сервовитной пленки использовали метод атомно-силовой микроскопии (АСМ) (сканирующий зондовый микроскоп РНУВЕ Compact). Сканирование проводили в полуконтактном режиме монокристаллическим кремниевым зондом с алюминиевым покрытием.

Особенности морфологии и элементного состава сервовитной пленки исследовали методом растровой электронной микроскопии (микроскоп марки TESCAN MIRA 3 XMU, оснащенный рентгеновским энергодисперсионным микроанализатором AZTECH Advanced Inca Energy 350 с безазотным детектором X-MAX 80). Исследования проводили в режиме вертикального сканирования (тип изображения ДЕРТН) в условиях высокого вакуума. Содержание элементов определяли с помощью программного обеспечения AZtec 2.1.

Для установления параметров шероховатости сервовитной пленки, 2D и 3D визуализации ее поверхности использовали оптический профило-

Таблица 2. Результаты трибологических испытаний

Смазочная среда – водный раствор кислоты		Коэффициент трения, $f \pm \Delta f$	Износ пары трения, г
Муравьиная	H–COOH	0.27 ± 0.021	0.4452
Уксусная	CH ₃ COOH	0.25 ± 0.016	0.5418
Пропионовая	CH ₃ CH ₂ COOH	0.07 ± 0.018	0.1168
Масляная	CH ₃ (CH ₂) ₂ COOH	0.03 ± 0.02	0.0646
Валериановая	CH ₃ (CH ₂) ₃ COOH	0.009 ± 0.003	0.0252
Капроновая	CH ₃ (CH ₂) ₄ COOH	0.007 ± 0.002	0.0175

метр ContourGT-K фирмы Bruker, установленный в РЦКП НОЦ “Материалы”¹. Все измерения проводили методом вертикальной сканирующей интерферометрии с использованием двух источников света. Скорость сканирования 0.1 мкм/с при повторяемости среднеквадратичного отклонения 0.01 нм. Для объективной оценки шероховатости пленки в соответствии с ГОСТ [15] на базовой длине 800 мкм рассчитывали параметры шероховатости – среднеарифметическое отклонение профиля (R_a).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При изучении трибологического поведения пары трения латунь–сталь в водных растворах одноосновных карбоновых кислот с общей формулой R–COOH ($R = C_nH_{2n+1}$, $n = 0-5$) обнаружено снижение коэффициента трения до 0.007 в ходе эволюции трибосистемы “латунь–водный раствор капроновой кислоты–сталь”, что свидетельствует о ее переходе в режим безызносного трения (табл. 2) с образованием на поверхности защитной антифрикционной сервовитной пленки. Элементный состав сервовитной пленки определен методом энергодисперсионного анализа. Основной фазой является медь, причем ее содержание на поверхности трения увеличивается до 82 мас. % при изменении смазочной среды – последовательном переходе в ряду одноосновных карбоновых кислот: муравьиная–уксусная–пропионовая–масляная–валериановая–капроновая. Помимо меди в состав сервовитной пленки входят в незначительных количествах углерод, цинк, кремний и марганец, являющиеся компонентами материалов пары трения (табл. 1) и переходящие в смазочную среду в результате трибоэлектрохимического взаимодействия латуни и стали (рис. 1), а затем вновь осаждающиеся, но уже на поверхности сервовитной пленки [16]. Необходимо отметить, что сплошность формирующейся пленки также увеличивается, о чем свидетельствует: во-первых, снижение площади поверхности трения стали, не покрытой пленкой меди, при использовании ка-

проновой кислоты вместо муравьиной; во-вторых, снижение содержание железа на поверхности (рис. 1) (до 4.9 мас. % при трении в растворе капроновой кислоты согласно энергодисперсионному спектру сервовитной пленки) и уменьшение ее пористости [14]. Сервовитная пленка плотно и практически полностью покрывает дорожку трения, обеспечивая безызносное трение.

Необходимо подчеркнуть, что определенное влияние на параметры трения как в наномасштабном диапазоне, так и в макрообъеме оказывает шероховатость трущихся поверхностей [17]. Измерение шероховатости сервовитных пленок, образующихся при трении трибосопряжения латунь–сталь в водных растворах карбоновых кислот, проводили с использованием оптической профилометрии (рис. 2).

В результате оптического сканирования сервовитных пленок, формирующихся на поверхности стали при трении пары латунь–сталь в различных смазочных средах, обнаружены существенные различия в шероховатости поверхности по сравнению с исходным стальным образцом, которая снижается при формировании сервовитной пленки в водных растворах валериановой и капроновой кислот до $R_a = 91$ и 69 нм соответственно. Поперечное сечение изношенных поверхностей характеризуется квазипериодической последовательностью минимумов и максимумов, образующих набор параллельных микроканалов вдоль направления скольжения. Можно заметить, что изношенные поверхности диска и пальчиков очень схожи и дополняют друг друга. При относительном движении двух поверхностей в водных растворах кислот формируется сервовитная пленка с множеством неровностей и пор, которые способны захватывать не только смазку, но и имеющиеся в ней частицы износа, образующие, в свою очередь, на поверхности множество царапин (рис. 3). Полученные результаты свидетельствуют об абразивном износе при трении в водных растворах муравьиной и уксусной кислот.

В условиях испытаний в водных растворах валериановой и капроновой кислот изношенные поверхности представляют собой наноканавки,

¹ nano.donstu.ru.

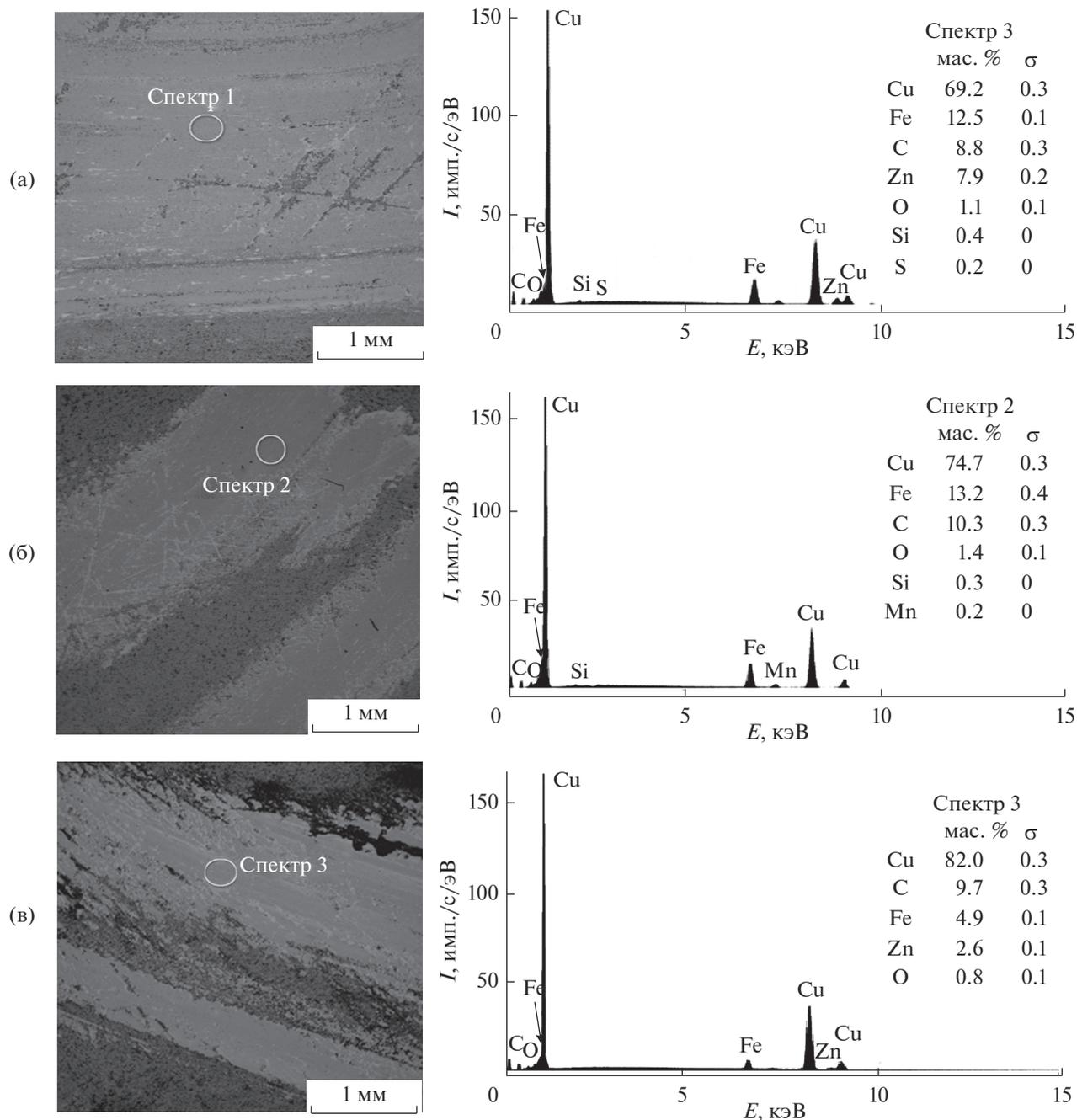


Рис. 1. Энергодисперсионные спектры сервоитных пленок, полученных на поверхности стальных дисков после трения сплава меди по стали в водных растворах кислот: а – масляной; б – валериановой; в – капроновой.

расположенные параллельно направлению скольжения, что свидетельствует об уже значительно меньшем износе [18]. Гауссовский тип топографических функций (рис. 2) указывает на уменьшение разброса неровностей по поверхности (рис. 3) при трении пары латунь–сталь в водном растворе валериановой и капроновой кислот. Кроме того, наноразмерные неровности способствуют уменьшению площади контакта и увеличению гидрофобности поверхности [19], что при-

водит к уменьшению сил сцепления при трении и снижению коэффициента трения.

Проведение методом АСМ сравнительного анализа поверхности образцов после трения в водных растворах муравьиной и капроновой кислот дает возможность наблюдать модификацию тонкого приповерхностного слоя вследствие массопереноса элементов контактирующих тел. Стальная поверхность после фрикционного взаимодействия три-

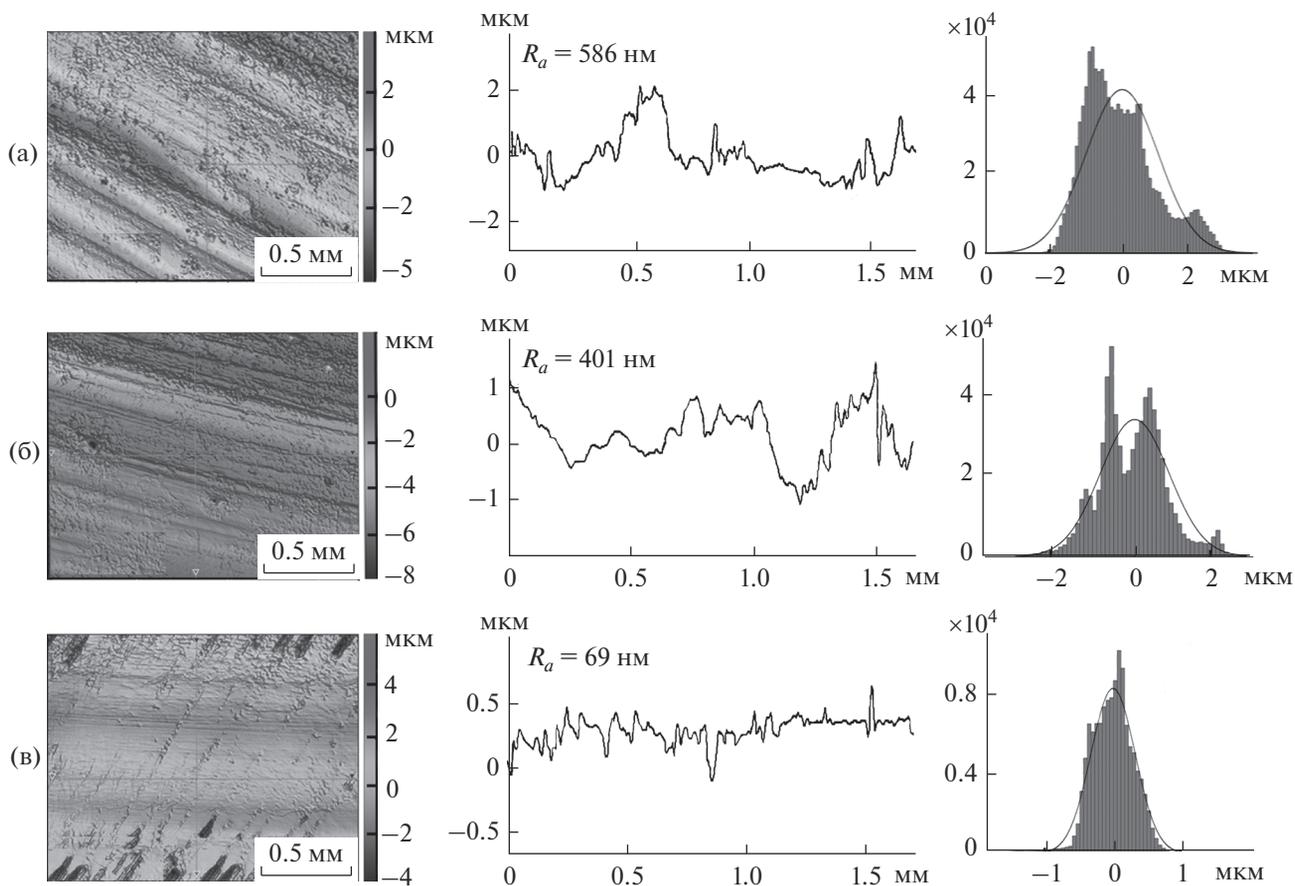


Рис. 2. Результаты оптической профилометрии серовитных пленок, полученных на поверхности стальных образцов после трения в системе “латунь–водный раствор карбоновой кислоты–сталь” при использовании кислоты: а – муравьиной; б – масляной; в – капроновой.

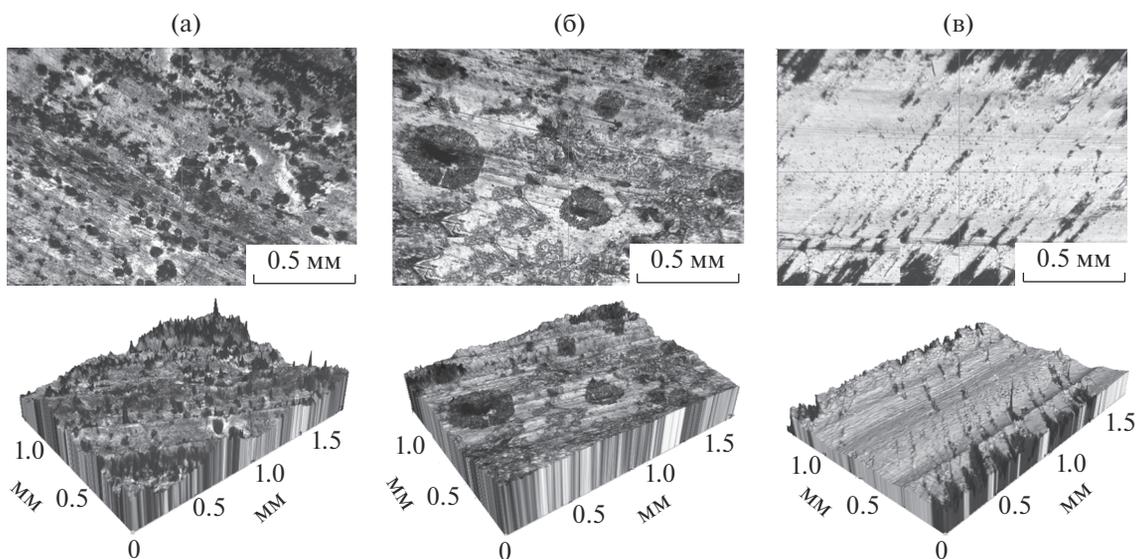


Рис. 3. 2D и 3D визуализация серовитных пленок, полученных на поверхности стальных образцов после трения в системе “латунь–водный раствор карбоновой кислоты–сталь” при использовании кислоты: а – муравьиной; б – масляной; в – капроновой.

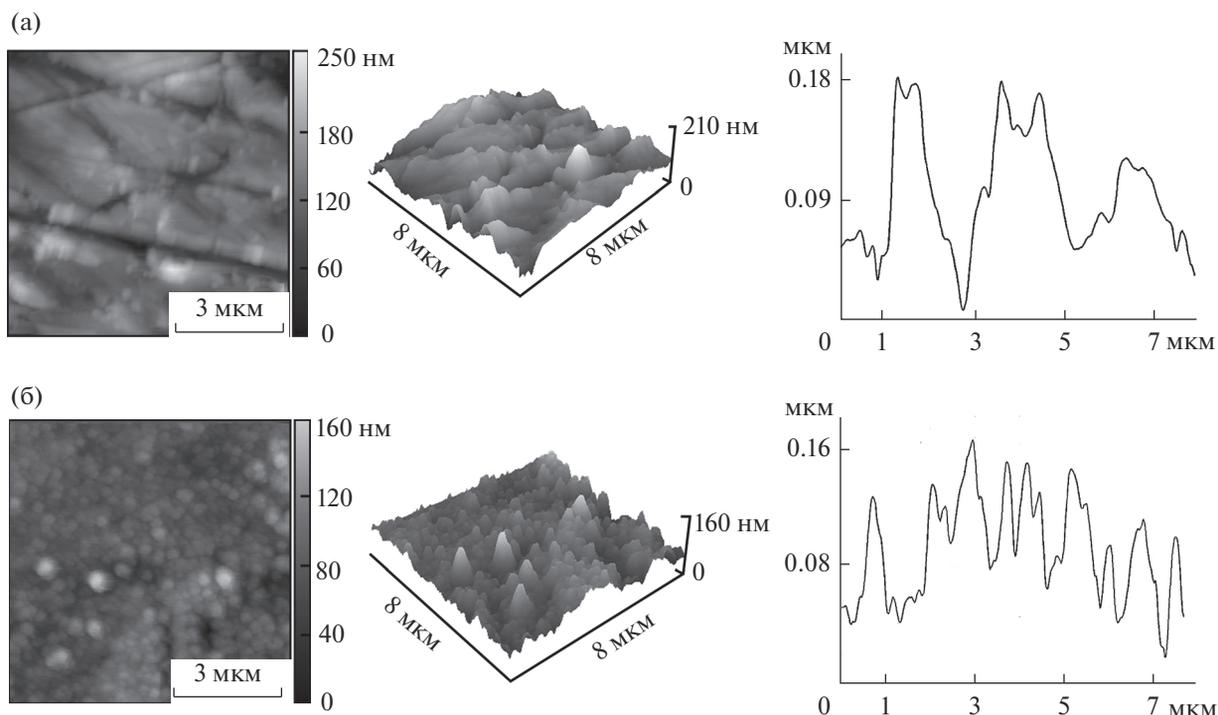


Рис. 4. Данные АСМ для поверхности образца стального диска до (а) и после (б) трения пары латунь–сталь в течение 10 ч в водном растворе капроновой кислоты.

босопряжения латунь–сталь в водном растворе капроновой кислоты покрыта кластерами меди (рис. 4). Слой, сформированный на поверхности, достаточно плотный, с малым разбросом частиц по размеру. Аналогичные результаты были получены при сканировании поверхности, сформированной при трении в системе “латунь–водный раствор валериановой кислоты–сталь”. Благодаря визуализации стальной поверхности после трения в водном растворе муравьиной кислоты выявлено множество впадин и борозд в виде макроскопических темных полос, соответствующих областям интенсивного фрикционного напряжения с абразивным износом трибопары. Поверхность трения, модифицированная при трении в водном растворе уксусной кислоты, также неструктурированная, с большим количеством неровностей. Характерные темные области в зоне сканирования указывают на неполное покрытие стального диска медными кластерами. На поверхностях фрикционного взаимодействия в виде сервовитных пленок, образовавшихся в водных растворах пропионовой и масляной кислот, наблюдается хаотичное распределение нанокластеров меди (частиц, состоящих из десятков или сотен атомов) с большим разбросом топографической высоты.

Уменьшение области сканирования поверхности трения (рис. 5) позволяет судить о размерах и форме нанокластеров меди, осаждающихся на

поверхности трения. Так, сервоитные пленки, формирующиеся при длительном фрикционном взаимодействии в водных растворах муравьиной и уксусной кислот, характеризуются небольшой однородностью нанокластеров меди с частицами размером до 100 нм. Степень их агрегации велика. В результате поверхность трения формируют неупорядоченные структуры с сильно развитой поверхностью и формой, близкой к сферической, при разбросе топографических высот более 100 нм. В режиме граничного трения увеличение топографических высот трущихся поверхностей приводит к свободному перемещению смазочного материала, что способствует выводу нанокластеров меди, формирующих защитную пленку, из зоны трения в объем смазочной композиции.

При трении пары латунь–сталь в водном растворе пропионовой кислоты сервоитную пленку образуют сферические частицы меди с четко выраженными границами. Такая форма частиц затрудняет создание плотной упаковки, в результате между кластерами меди возникают пустоты и неровности. В водном растворе масляной кислоты медную пленку формируют наночастицы смешанного типа – эллипсоидальной и сферической формы. Из рис. 5 видно, что в водных растворах валериановой и капроновой кислот сервоитные пленки формируются только за счет кластеров эллипсоидальной формы, расположенных в направлении трения и плотно прилегающих друг к другу

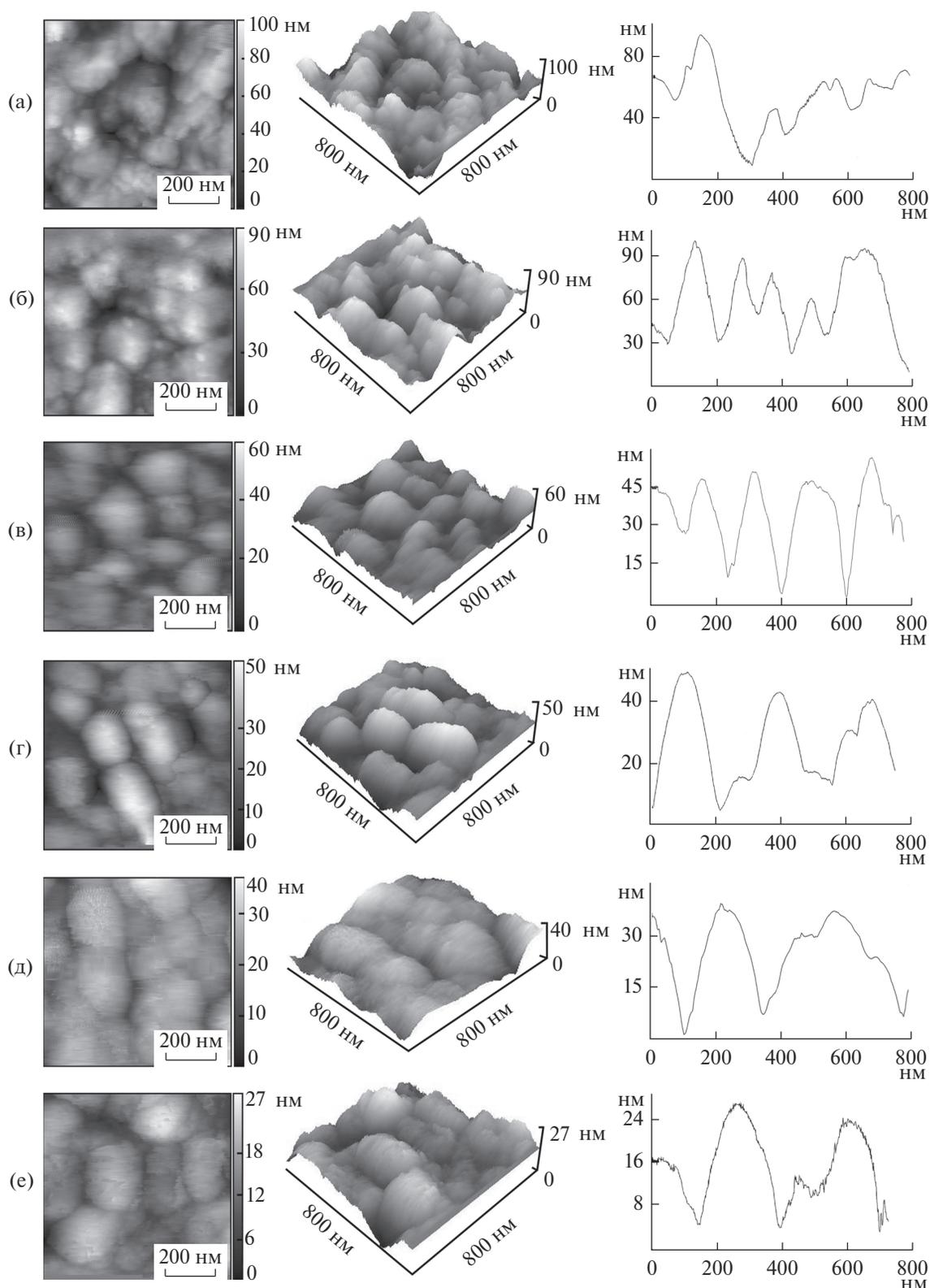


Рис. 5. 2D, 3D визуализация и профиль сканирования поверхности серовитных пленок, полученных на поверхности стальных образцов после трения в системе "латунь-водный раствор кислоты-сталь" при использовании кислоты: а – муравьиной; б – уксусной; в – пропионовой; г – масляной; д – валериановой; е – капроновой.

при разбросе топографических высот 40 и 27 нм соответственно. Коэффициент трения резко снижается до значений, характерных для систем, работающих в режиме безызносного трения.

Наблюдаемую тенденцию к модификации поверхности при переходе в ряду одноосновных карбоновых кислот от муравьиной к капроновой можно объяснить тем, что рост тонких пленок является неравновесным процессом. Конечный рельеф поверхности определяется сложным сочетанием таких факторов, как скорость образования нанокластеров меди и скорость их диффузии [20], которая, видимо, увеличивается в случае капроновой кислоты. В водных растворах валериановой и капроновой кислот время, необходимое для образования антифрикционной пленки [21–23], уменьшается, а нанонеровности пленки улавливают и оставляют смазочный материал непосредственно в зоне трения [24]. Кроме того, на формирование антифрикционной пленки и ее рельефа оказывает влияние прикладываемая нормальная нагрузка, уменьшающая зазор между трибосопряженными поверхностями, а также смазочный материал, заключенный между двумя поверхностями. Они инициируют трибоэлектрохимические реакции в зоне трения, характеризующиеся изменениями равновесия трибологической системы и силы взаимодействия [20, 25, 26]. Пленка становится структурированной и способна поддерживать как большие нормальные нагрузки, так и низкое сопротивление сдвигу [27, 28]. Наконец, изменения топографии поверхности сервовитной пленки влияют на износ материалов: чем глаже поверхность трения, тем ниже износ (табл. 1) [29–33]. Сервовитные пленки, формирующиеся при трении в водных растворах валериановой и капроновой кислот, имеют плотную структуру. Количество пор в них минимальное, что приводит к резкому снижению коэффициента трения (табл. 1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, при трении пары латунь–сталь в водных растворах карбоновых кислот на трибосопряженных поверхностях формируется антифрикционная сервовитная пленка, способствующая резкому снижению коэффициента трения.

Состав смазочной среды оказывает существенное влияние на параметры сервовитной пленки: при использовании капроновой кислоты вместо муравьиной при фрикционном трибосопряжении латунь–сталь шероховатость поверхности трения снижается в 4 раза.

Сервовитную пленку формируют нанокластеры меди преимущественно эллипсоидальной формы высотой до 40 нм, плотно прилегающие

друг к другу и направленные вдоль скольжения контртела.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Etsion I.* // J. Tribol. 2005. V. 127. № 1. P. 248. doi 10.1115/1.1828070
2. *Etsion I.* // Tribol. Lett. 2004. V. 17. № 4. P. 733. doi 10.1007/s11249-004-8081-1
3. *Uehara Y., Wakuda M., Yamauchi Y. et al.* // J. Eur. Ceram. Soc. 2004. V. 24. № 2. P. 369. doi 10.1016/S0955-2219(03)00220-6
4. *Бурлакова В.Э., Косогова Ю.П., Дроган Е.Г.* // Вестн. Донского гос. тех. ун-та. 2015. Т. 15. № 2(81). С. 41. doi 10.12737/11590
5. *Dziedzic K., Pashechko M., Barszcz M. et al.* // Adv. Sci. Tech. Res. J. 2017. V. 11. № 3. P. 253. doi 10.12913/22998624/76583
6. *Vettegren V.I., Ponomarev A.V., Sobolev G.A. et al.* // Phys. Solid State. 2018. V. 60. № 1. P. 129. doi 10.1134/S1063783418010286
7. *Бурлакова В.Э., Новикова А.А., Дроган Е.Г. и др.* // Вестн. Донского гос. тех. ун-та. 2015. Т. 15. № 4(83). С. 63. doi 10.12737/16067
8. *Sundararajan S., Bhushan B.* // J. Appl. Phys. 2000. V. 88. № 8. P. 4825. doi 10.1063/1.1310187
9. *Peña-Parás L., Gao H., Maldonado-Cortés D. et al.* // Tribol. Intern. 2018. V. 119. P. 88. doi 10.1016/j.triboint.2017.09.009
10. *Khaemba D.N., Jarnias F., Thiebaut B et al.* // J. Phys. D. 2017. V. 50. № 8. P. 085302. doi 10.1088/1361-6463/aa5905
11. *Lu W., Zhang P., Liu X. et al.* // Tribol. Intern. 2017. V. 109. P. 367. doi 10.1016/j.triboint.2017.01.001
12. *Wakuda M., Yamauchi Y., Kanzaki S. et al.* // Wear. 2003. V. 254. № 3. P. 356. doi 10.1016/S0043-1648(03)00004-8
13. *Бурлакова В.Э., Дроган Е.Г., Тюрин А.И. и др.* // Вестн. Донского гос. тех. ун-та. 2018. Т. 18. № 3. С. 280. doi 10.23947/1992-5980-2018-18-3-280-288
14. *Burlakova V.E., Milov A.A., Drogan E.G. et al.* // J. Surf. Invest.: X-Ray, Synchrotron Neutron Tech. 2018. V. 12. № 6. P. 1108. doi 10.1134/S1027451018050427
15. Шероховатость поверхности параметры, характеристики и обозначения. ГОСТ 2789-73. Введ. 1975–01–01. М.: Изд-во стандартов, 2006. 8 с.
16. *Бурлакова В.Э.* Трибоэлектрохимия эффекта безызносности. Изд. центр ДГТУ, 2005. 211 с.
17. *Wolff C., Pawelski O., Rasp W.* // Proceed. 8th Intern. Conf. on Metal Forming, Krakow, 2000. P. 91.
18. *Gerberich W.W., Mook W.M., Perrey C.R. et al.* // J. Mech. Phys. Solids. 2003. V. 51. № 6. P. 979. doi 10.1016/S0022-5096(03)00018-8
19. *Choi C.H., Kim J., Kim C.J.* // Proceed. ASME 3rd Integrated Nanosystems Conf. Pasadena, California, USA, 2004. P. 47.
20. *Das D., Singh R.N.* // Intern. Mater. Rev. 2007. V. 52. № 1. P. 29. doi 10.1179/174328007X160245
21. *Persson B.N.* // Surf. Sci. Rep. 2006. V. 61. № 4. P. 201. doi 10.1016/j.surfrep.2006.04.001

22. *Chang W.R.* // Appl. Ergonomics. 2001. V. 32. № 2. P. 173. doi 10.1016/S0003-6870(00)00054-5
23. *Burton Z., Bhushan B.* // Ultramicroscopy. 2006. V. 106. № 8. P. 709. doi 10.1016/j.ultramicro.2005.10.007
24. *Jonasson M., Wihlborg A., Gunnarsson L.* // Intern. J. Machine Tools Manufacture. 1998. V. 38. № 5–6. P. 459. doi 10.1016/S0890-6955(97)00090-4
25. *Israelachvili J., Maeda N., Rosenberg K.J. et al.* // J. Mater. Res. 2005. V. 20. № 8. P. 1952. doi 10.1557/JMR.2005.0255
26. *Dhinojwala A.* // Mater. Sci. Tech. 2003. V. 19. № 9. P. 1170. doi 10.1179/026708303225004747
27. *Jabbarzadeh A., Harrowell P., Tanner R.I.* // Tribol. Intern. 2007. V. 40. № 10. P. 1574. doi 10.1016/j.triboint.2006.11.003
28. *Stevens M.J., Mondello M., Grest G.S. et al.* // J. Chem. Phys. 1997. V. 106. № 17. P. 7303. doi 10.1063/1.473692
29. *Keller J., Fridrici V., Kapsa P. et al.* // Tribol. Intern. 2009. V. 42. № 6. P. 1011. doi 10.1016/j.triboint.2009.02.008
30. *Дроган Е.Г.* // Сб. науч. тр. XIII Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых “Перспективы развития фундаментальных наук”. Томск, 2016. С. 148.
31. *Podgornik B., Hogmark S., Sandberg O.* // Surf. Coat. Tech. 2004. V. 184. № 2. P. 338. doi 10.1016/j.surfcoat.2003.11.002
32. *Kovalchenko A., Ajayi O., Erdemir A. et al.* // Trib. Intern. 2005. V. 38. № 3. P. 219. doi 10.1016/j.triboint.2004.08.004
33. *Persson B.N.J.* // Tribol. Lett. 2015. V. 58. № 1. P. 11. doi 10.1007/s11249-015-0498-1

Influence of Lubricating Medium Composition on the Structure of Surface Layers of Servovite Film Forming during Friction

V. E. Burlakova, E. G. Droган, A. A. Novikova, M. A. Belikova

Tribological characteristics of the brass–steel friction pair in aqueous solutions of the series carboxylic acids were investigated. It was found that with an increase in the length of the hydrocarbon radical in the acid molecule used as an organic component of the lubricant composition in the friction of brass on steel, the coefficient of friction decreased and wear diminished. A servovite film was found to be formed on tribo conjugate surfaces during friction interaction. During the transition in the series of monobasic carboxylic acids $R-COOH$ ($R = C_nH_{2n+1}$, $n = 0-5$) used as a lubricating medium, the roughness of the film surface decreased from formic acid to caproic one and its continuity increased. The servovite film was shown to be formed from copper nanoclusters of predominantly ellipsoidal shape with a height of up to 40 nm, tightly adjacent to each other and directed along the slip of the counter body.

Keywords: copper nanoclusters, servovite film, surface roughness, non-wear friction, selective transfer, coefficient of friction, nanotribology.