

УДК 629.7.023

Е.В. Алифанов¹, А.М. Чайкун¹, Д.С. Горлов¹, М.А. Венедиктова¹

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛКИДНЫХ ПОКРЫТИЙ С АБРАЗИВНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ РАЗЛИЧНОЙ ДИСПЕРСНОСТИ

DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-4-84-90

Представлены результаты исследования трибологических свойств модельных систем нескользких покрытий, где в качестве полимерной основы взято однокомпонентное алкидно-уретановое связующее, а в качестве абразивного наполнителя применялся песок и электрокорунд различного фракционного состава. Представленные данные могут быть использованы при разработке нескользких покрытий, которые активно применяются как в авиационной промышленности, так и в других сферах народного хозяйства. Осмысленный подход к природе и размеру выбранного наполнителя позволит не только значительно улучшить функциональность нескользкого покрытия, но и увеличить срок его эксплуатации. Приводятся значения коэффициента трения как одной из главных характеристик данного типа покрытий, а также наблюдения, касающиеся качества поверхности и стойкости к истиранию.

Ключевые слова: полимеры, нескользкое покрытие, трибология, коэффициент трения, полиуретан, наполнители.

E.V. Alifanov¹, A.M. Chaykun¹, D.S. Gorlov¹, M.A. Venediktova¹

TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE ALKYD COVERINGS FILLED WITH ABRASIVE FILLERS OF DIFFERENT SIZE

In article results of research of tribological properties of model systems of nonskid coatings based on an one-component alkyd binding with abrasive fillers like sand and electrocorundum of different fractions was applied. Submitted data can be used when developing nonskid coatings which are actively applied, both in the aviation industry, and in other spheres of national economy. Intelligent approach to the nature and the size of the chosen filler will allow not only to improve considerably functionality of nonskid coating, but also to increase term of its operation. Values of friction coefficient, as one of the main characteristics of this type of coatings, are given. Observations concerning surface qualities and resistance to abrasion are showed.

Keywords: polymers, nonskid coating, tribologiya, friction coefficient, polyurethane, fillers.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials» State Research Center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

Введение

В настоящее время значительно возрастает интенсивность эксплуатации авиационной техники, активно разрабатываются новые функциональные полимерные покрытия с улучшенными техническими характеристиками. Направленное применение функциональных полимерных материалов, в том числе лакокрасочных покрытий специального назначения, позволит расширить диапазон работоспособности авиационной техники с учетом дополнительно предъявляемых к ней современных требований и задач [1–6]. Покрытия со специальными требованиями по уменьшенному скольжению применяются

во многих областях промышленности – так, увеличенный коэффициент трения является важнейшей характеристикой палубных покрытий [7, 8]. Противоскользкие покрытия применяются на промышленных объектах и в строительстве.

Отдельно необходимо отметить, что для эффективного обслуживания авиационной техники требуется удобство и безопасность перемещения персонала по внешней поверхности летательных аппаратов. В настоящее время безопасность сотрудников является приоритетом в организации труда на промышленных предприятиях. В связи с этим ступеньки, поручни, площадки и другие рабочие поверхности летательных аппаратов необходимо покрывать специальными противоскользкими материалами, обеспечивающими безопасность проводимых регламентных работ.

Одним из распространенных способов предотвращения скольжения на заданных поверхностях является применение специальных изделий (пластин, ковриков, лент) с развитой поверхностью, которые крепятся различным образом на объект и обеспечивают необходимый уровень нескользящих свойств; применяется также специальная обувь.

Анализ научно-технической литературы показывает [9, 10], что часто в качестве полимерной основы нескользящего покрытия применяют связующие различного химического строения, обычно использующиеся в качестве антикоррозионных защитных покрытий. В них дополнительно вводят различные абразивные наполнители с целью придания нескользящих свойств. Данные материалы имеют высокую адгезию к защищаемой поверхности, хорошие показатели по стойкости к внешним разрушающим воздействиям [11–15]. При этом вопросам равномерного распределения частиц абразивного наполнителя уделяется меньшее внимание. С учетом того факта, что размер частиц абразивных наполнителей, как правило, значительно превышает размер других ингредиентов, недостаточное внимание к данному аспекту приводит к сокращению срока службы покрытия в целом в связи с выделением («выкрашиванием») из него крупных частиц.

Применение алкидных систем дает возможность создавать однокомпонентные системы [16, 17], что позволяет значительно упростить процесс формирования нескользящего покрытия – их можно наносить вручную без применения специального оборудования. Кроме того, в РФ имеется широкая сырьевая база материалов данного типа, что также позволит существенно снизить стоимость производимой продукции.

Важным аспектом разработки рецептуры нескользящего покрытия является подбор наполнителя. Осмысленный подход к природе и размеру выбранного наполнителя позволит не только значительно улучшить функциональность нескользящего покрытия, но и увеличить срок его эксплуатации.

В качестве абразивных наполнителей обычно применяют песок, керамические наполнители, электрокорунд и т. п. При этом их содержание колеблется от 5 до 30% (по массе) [18, 19]. Размер частиц твердых наполнителей может достигать 2 мм. Оценке влияния фракционного состава таких распространенных абразивных материалов, как песок и электрокорунд, на трибологические характеристики нескользящих покрытий посвящена данная работа.

Материалы и методы

Важнейшим функциональным свойством нескользящего покрытия является коэффициент трения. В данной работе представлены экспериментальные данные по коэффициенту трения модельных систем на основе связующего на базе алкидно-уретанового лака (ТУ2311-273-05800142–2006) с функциональными добавками. В качестве абразивных наполнителей применяли песок (ГОСТ 9428–73) и электрокорунд (ГОСТ 28818–90) различных фракций. В качестве загустителя в модельных системах 6–9 использовали стеклянные микросферы (ТУ6-48–91).

В качестве контртела использовали полиуретан на основе форполимера СКУ-ПФЛ-100 (ТУ2294-003-46898377–2001). Данный полимер выбран исходя из задачи смоделировать материал обувной подошвы, входящей в контакт с рабочими поверхностями авиационной техники. Полиуретан является полимером, относящимся к наиболее скользким материалам, широко применяемым в обувной промышленности, однако при этом он характеризуется высокой износостойкостью. Применение такого материала позволяет определять коэффициент трения с высокой воспроизводимостью. Твердость форполимера СКУ ПФЛ-100 составляет 92 ед. по Шору А.

Определение коэффициента трения проводили на трибометре SETR UMT-3MT с использованием привода R33HE350 для возвратно-поступательного движения при температуре 20°C согласно СТО 1-595-2-507–2016. Продолжительность испытаний составляла 30 с, в качестве контртела использовали пальчик из полиуретана диаметром 13 мм с длиной цилиндра 13 мм, пластинки – образцы из алюминиевого сплава Д16 с противоскользящими покрытиями, нагрузка 10 Н, частота колебаний 0,5 Гц, амплитуда колебаний 15 мм. Испытания проводили при температуре окружающего воздуха 23±3°C, без использования смазок – трение всухую при относительной влажности воздуха 50±10%. Данный режим моделирует начало проскальзывания обувной подошвы по сухому нескользящему покрытию.

Экспериментальные образцы нескользящего покрытия производили путем смешения алкидно-уретанового связующего с абразивным наполнителем на лабораторной мешалке в течение 10 мин. После смешения покрытие наносили кистью на подложку из алюминиевого сплава Д16. Продолжительность сушки образцов до трибологических испытаний составляла 72 ч.

Результаты

Исследования экспериментальных композиций с песком в качестве абразивного наполнителя

Результаты исследования по коэффициенту трения экспериментальных композиций с различным количеством песка фракции менее 750 мкм представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Коэффициент трения экспериментальных композиций,
наполненных песком фракции менее 750 мкм**

Условный номер композиции	Содержание песка, % (по массе)	Коэффициент трения сухого покрытия
1	10	0,45
2	20	0,75
3	30	0,66

Отмечено, что увеличение содержания песка до 20% (по массе) приводит к увеличению коэффициента трения экспериментальных систем, однако при более высоком содержании значение коэффициента трения несколько снижается. Причем во время изготовления экспериментальных образцов (при нанесении модельных покрытий кистью) наблюдалась ярко выраженная неоднородность распределения частиц абразивного наполнителя по поверхности. Кроме того, при определении коэффициента трения происходило выкрашивание крупных частиц абразивного наполнителя из полимерной матрицы. Все это указывает на то, что данный тип наполнителя не подходит для получения покрытия со стабильными свойствами.

Для устранения указанных недостатков исследованы экспериментальные системы с песком меньшей фракции в качестве абразивного наполнителя.

Данные по коэффициенту трения экспериментальных систем при различных количествах песка фракции менее 250 мкм представлены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициент трения экспериментальных систем, наполненных песком фракции менее 250 мкм

Условный номер композиции	Содержание песка, % (по массе)	Коэффициент трения сухого покрытия
4	10	0,5576
5	20	0,6511
6	30	0,6021

Наблюдение показало, что уменьшение размера частиц песка приводит к получению более равномерного покрытия, однако при нанесении кистью его нельзя назвать однородным на всех участках образца. Анализ значений коэффициента трения показывает наличие максимума при содержании наполнителя 20% (по массе). При определении коэффициента трения наблюдалось выкрашивание крупных частиц абразивного наполнителя из полимерной матрицы. Представленные данные указывают на улучшение внешне-видовых характеристик экспериментальных систем с песком фракции менее 250 мкм по сравнению с образцами с применением песка фракции менее 750 мкм, однако наличие выкрашиваний не позволяет считать их характеристики удовлетворительными.

Применение загустителей различных типов в лакокрасочной промышленности позволяет улучшить технологические свойства и однородность систем. Считается, что загустители препятствуют быстрому осаждению крупных частиц, что в случае применения в качестве наполнителей абразивных материалов является крайне актуальным. В качестве загустителя в экспериментальных композициях несскользящего покрытия с использованием песка фракции меньше 250 мкм использовали стеклянные микросферы. Известны данные, согласно которым микросферы также способны придавать материалам несскользящие свойства [20].

Данные по коэффициенту трения экспериментальных композиций при различных количествах песка фракции менее 250 мкм с добавлением 2,5% (по массе) стеклянных микросфер представлены в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициент трения экспериментальных систем, наполненных песком фракции менее 250 мкм с добавлением 2,5% (по массе) стеклянных микросфер

Условный номер композиции	Содержание песка, % (по массе)	Коэффициент трения сухого покрытия
7	10	0,6438
8	20	0,6332
9	30	0,5671

Отмечено улучшение диспергирования частиц песка при применении стеклянных микросфер. Однородность нанесенной пленки улучшилась, однако при определении коэффициента трения сохранилось выкрашивание крупных частиц. Наблюдается снижение значения коэффициента трения при увеличении содержания абразивного наполнителя в присутствии стеклянных микросфер, однако следует отметить, что даже при содержании песка 10% (по массе) коэффициент трения имеет высокое, в сравнении с полученными ранее данными, значение 0,64.

*Исследования экспериментальных композиций с электрокорундом
в качестве абразивного наполнителя*

В данной работе также исследовали модельные системы с электрокорундом в качестве абразивного наполнителя. Данный материал широко распространен, его можно приобрести заданного фракционного состава с более однородными по размеру частицами в составе одной фракции. Применение электрокорунда позволяет избежать такой технологической операции, как просеивание, которая необходима в случае использования песка. Указанное преимущество позволяет оценить влияние размера частиц на значение коэффициента трения модельных систем.

Данные по значениям коэффициента трения экспериментальных систем, наполненных 40% (по массе) электрокорунда различных фракций, представлены в табл. 4.

Таблица 4

**Коэффициент трения экспериментальных систем,
наполненных 40% (по массе) электрокорунда различных фракций**

Условный номер композиции	Марка электрокорунда	Коэффициент трения сухого покрытия
10	F60	0,6351
11	F70	0,558
12	F100	0,5882
13	F120	0,5861
14	F180	0,556

Из представленных данных видно, что коэффициент трения всех испытуемых систем превышает значение 0,5. Выкрашивание частиц из полимерной матрицы при определении коэффициента трения наблюдалось при применении более крупных фракций электрокорунда – F60, F70, F100. В системах, наполненных более дисперсными фракциями F120 и F180, выкрашивания не наблюдалось. Однородность покрытий улучшается с уменьшением размера частиц наполнителя.

Обсуждение результатов

Согласно современным представлениям, в исследуемой паре трения «эластомер–твердое тело» имеет место вязкоупругое трение, т. е. присутствуют адгезионный и гистерезисный компоненты силы трения [21, 22]. Адгезионная составляющая зависит от природы контактирующих тел, способности полимеров к тесному межмолекулярному контакту, скорости движения в паре трения, наличия или отсутствия смазки. Гистерезисная составляющая определяется природой эластомера, степенью его деформируемости в процессе трения, температурой и прочими факторами.

Полученные в работе результаты показали, что при применении в качестве абразивного наполнителя песка наблюдается максимум значения коэффициента трения при концентрации 20% (по массе), при увеличении концентрации до 30% (по массе) наблюдается некоторое снижение значения. Это можно объяснить тем, что основной причиной сопротивления движения контртела вдоль плоскости покрытия с большими и ярко выраженными неровностями является их вдавливание в полимерную матрицу на существенную глубину и возникающие в результате этого сильные локальные напряжения (наличие таких напряжений объясняется выкрашиванием крупных частиц песка в процессе эксперимента). С учетом высокой твердости и стойкости к разрыву применяемого в эксперименте полиуретана, данные напряжения могут существенно увеличивать коэффициент трения, в том числе вследствие значительного роста гистерезисной составляющей трения. При увеличении концентрации абразивного наполнителя наблюдается

увеличение площади контакта «эластомер–покрытие», что при заданном в эксперименте давлении приводит к меньшему вдавливанию частиц – гистерезисная составляющая трения уменьшается, при этом рост адгезионной составляющей трения, вызванный увеличением площади поверхности контакта, очевидно не компенсирует эту потерю.

Данные рассуждения справедливы для систем с электрокорундом, в которых наблюдается плавное снижение значений коэффициента трения с увеличением дисперсности абразивного наполнителя, т. е. с уменьшением размера частиц при заданной концентрации абразивного наполнителя имеет место увеличение площади поверхности контакта и снижение гистерезисной составляющей силы трения.

Для экспериментальных систем, где в качестве загустителя применены стеклянные микросферы, уменьшение коэффициента трения с увеличением содержания абразивного наполнителя может объясняться тем, что частицы песка в более наполненных системах в значительно меньшей степени выступали над поверхностью покрытия (покрытия выглядели более однородными по сравнению с покрытиями без микросфер), их доля в гистерезисной составляющей силы трения была не так велика. При этом всплывающие на поверхность в процессе формирования покрытия за счет своей низкой плотности стеклянные микросферы (при заданной в эксперименте нагрузке) уже обеспечивали достаточную шероховатость, а при высокой степени контакта объем затеканий полиуретана в имеющиеся неровности был достаточен для обеспечения высокой гистерезисной составляющей силы трения. При этом увеличение концентрации песка уменьшало плотность этого контакта, что и приводило, очевидно, к снижению коэффициента трения.

При разработке нескользящих покрытий необходимо учитывать не только номинальное значение коэффициента трения, но и внешневидовые свойства, такие как однородность, а также стойкость к истиранию в процессе эксплуатации. Таким образом, несмотря на то, что значение коэффициента трения экспериментальных систем с электрокорундом более мелких фракций несколько уступает значениям коэффициента трения для покрытий с более крупными эластичными наполнителями, они могут быть более перспективными для создания промышленных материалов.

Заключения

1. Коэффициент трения является основной характеристикой нескользящих покрытий, определяющей их функциональную пригодность.

2. Экспериментальные системы на основе алкидно-уретанового связующего, содержащие в качестве абразивного наполнителя относительно крупные частицы песка, характеризуются наличием максимума значений коэффициента трения при дозировке наполнителя 20% (по массе), что может объясняться тем, что увеличение концентрации абразивного наполнителя приводит к уменьшению гистерезисной составляющей трения, при этом рост адгезионной составляющей, вызванный увеличением площади поверхности контакта, очевидно, не компенсирует эту потерю.

3. Высокие сдвиговые напряжения возникают при вдавливании отдельных крупных частиц абразивного наполнителя в контртело, что вызывает увеличение коэффициента трения исследуемых систем, однако приводит к выкрашиванию крупных частиц в процессе эксперимента.

4. Увеличение площади поверхности контакта и снижение гистерезисной составляющей силы трения исследуемой пары не компенсируется адгезионной составляющей в рамках проведенного эксперимента.

5. Однородность покрытий улучшается с уменьшением размера частиц абразивного наполнителя, а также с применением дополнительного количества загустителя в виде стеклянных микросфер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
2. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении // *Российский химический журнал*. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
3. Каблов Е.Н. Шестой технологический уклад // *Наука и жизнь*. 2010. №4. С. 2–7.
4. Каблов Е.Н. Материалы для авиакосмической техники // *Все материалы*. Энциклопедический справочник. 2007. №5. С. 7–27.
5. Каблов Е.Н. Из чего сделать будущее? Материалы нового поколения, технологии их создания и переработки – основа инноваций // *Крылья Родины*. 2016. №5. С. 8–18.
6. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение // *Все материалы*. Энциклопедический справочник. 2008. №3. С. 2–14.
7. Мудров О.А., Савченко И.М., Шитов В.С. Справочник по эластомерным покрытиям и герметикам в судостроении. Л.: Судостроение, 1982. 184 с.
8. Дринберг А.С., Калининская Т.В., Уденко И.А. Технология судовых покрытий. М.: ЛКМ-пресс, 2016. 672 с.
9. Розенфельд И.Л., Рубинштейн Ф.И., Жигалова К.А. Защита металлов от коррозии лакокрасочными покрытиями. М.: Химия, 1987. 224 с.
10. Денкер И.И. Технология окраски самолетов и вертолетов: учеб. пособие. М.: Машиностроение, 1980. 190 с.
11. Семенова Л.В., Малова Н.Е., Кузнецова В.А., Пожого А.А. Лакокрасочные материалы и покрытия // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №S. С. 315–327.
12. Нефедов Н.И., Семенова Л.В. Нанесение лакокрасочных покрытий методом «сырой по сырому» // *Авиационные материалы и технологии*. 2013. №4. С. 39–42.
13. Нефедов Н.И., Семенова Л.В., Кузнецова В.А., Веренинова Н.П. Лакокрасочные покрытия для защиты металлических и полимерных композиционных материалов от старения, коррозии и биоповреждения // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. №S. С. 393–404. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-393-404.
14. Семенова Л.В., Новикова Т.А., Нефедов Н.И. Климатическая стойкость и старение лакокрасочного покрытия // *Авиационные материалы и технологии*. 2014. №S3. С. 31–34. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-S3-31-34.
15. Семенова Л.В., Нефедов Н.И., Белова М.В., Лаптев А.Б. Системы лакокрасочных покрытий для вертолетной техники // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. №4 (49). С. 56–61. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-4-56-61.
16. Лившиц М.Л., Пшиялковский Б.И. Лакокрасочные материалы: справ. пособие. М.: Химия, 1982. 360 с.
17. Паттон Т.К. Технология алкидных смол. Составление рецептур и расчеты. М.: Химия, 1970. 128 с.
18. Antislip coating materials: pat. KR20150024368 (A); publ. 06.03.15.
19. Antiskid elastic coating and mfg. technology thereof: pat. CN1483518 (A); publ. 24.03.04.
20. Williamson N., O'Donoghue M., Datta V.J. Overview of Anti-Slip Coatings for Structural Steel // *Journal of Protective Coatings & Linings*. 2003. June. P. 41–49. URL: <http://www.paintsquare.com/jpcl/> (дата обращения: 20.03.2018).
21. Алифанов Е.В., Чайкун А.М., Горлов Д.С., Венедиктова М.А. Особенности механизма трения эластомерных материалов различных типов. Теоретические и практические аспекты (обзор) // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн*. 2018. №1 (61). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 20.03.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-1-8-8.
22. Мур Д. Трение и смазка эластомеров. М.: Химия, 1977. 262 с.