

**ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ
И ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭПОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ
С ВВЕДЕНИЕМ ГРАФИТОВОГО НАПОЛНИТЕЛЯ
И ОТВЕРЖДЕНИЕМ В ПОСТОЯННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

М.Ф. ГАЛИХАНОВ¹, д-р техн. наук, Е.Н. МОЧАЛОВА^{1,2}, канд. техн. наук,
Т.Т. МУСАЕВ^{1,2}, асп.

¹Институт прикладных исследований Академии наук Республики Татарстан,
420111, Казань, ул. Н.Э. Баумана, 20, e-mail: mgalikhanov@yandex.ru

²Казанский национальный исследовательский технологический университет,
420015, Казань, ул. К. Маркса, 68, e-mail: enmochalova@mail.ru

© Галиханов М.Ф., Мочалова Е.Н., Мусаев Т.Т., 2026

Исследовано влияние условий отверждения композитов на основе эпоксидной смолы DER-331 и модифицированного аминного отвердителя Л-20 и введения дисперсного графитового наполнителя на их механические и трибологические свойства. Экспериментально показано, что отверждение с применением электрического поля приводит к ориентации полярных групп и частиц наполнителя. Это дополнительно повышает твердость и снижает коэффициенты трения на 25 %. Введение 4 мас. % графита обеспечивает значительное снижение коэффициента трения и небольшое упрочнение материала, что способствует улучшению его износостойкости. Комплексный подход, объединяющий выбор матрицы, применение наполнителя и наложение постоянного электрического поля в процессе отверждения, позволит повысить износостойкость эпоксидных покрытий для продления срока их службы и расширения сферы практического применения.

Ключевые слова: эпоксидная смола, модифицированный аминный отвердитель, графит, поляризация, коэффициент трения, прочность, твердость.

ВВЕДЕНИЕ

Изделия из эпоксидных полимеров, равно как и изделия с эпоксидными покрытиями, подвергаются трению и износу под нагрузками в самых разнообразных условиях эксплуатации, где важны прочность, долговечность и устойчивость к механическим повреждениям [1–3]. Эпоксидные покрытия применяются для защиты металлов и других материалов в промышленности, нефтегазовой сфере, машиностроении и химической промышленности, где требуется прочная защита от физического трения и химического воздействия. Например, покрытия из эпоксидных полимеров в ряде случаев испытывают нагрузки на трение и износ, в том числе при их использовании:

на поверхности машин и механизмов, таких как конвейеры, насосы и валы, где они могут подвергаться трению во время работы;

в производственных и складских помещениях, где применение тяжелых машин или других транспортных средств (например, погрузчиков) вызывает высокие нагрузки и трение при контакте с полом;

для защиты деталей автомобильной промышленности и машиностроения от коррозии и износа, а также для улучшения сцепления в местах с высокой нагрузкой;

в качестве изоляционных покрытий на компонентах, где механические нагрузки могут вызвать повреждения или износ, и др. [1–3].

Кроме того, в химической промышленности эпоксидные покрытия могут быть подвержены эрозионному износу и деградации из-за воздействия агрессивных сред – растворителей, кислот или щелочей.

К типичным условиям, при которых изделия из эпоксидных композитов или с эпоксидными покрытиями подвергаются трению и износу, можно отнести механический контакт деталей и узлов с относительным движением поверхностей, контакт со средами с микроабразивными частицами, а также с агрессивными химическими средами, вызывающими абразивный, химический и эрозионный износ. Очевидно, что комбинация механического воздействия и химической коррозии ускоряет разрушение покрытия.

Повышение износостойкости эпоксидных покрытий может достигаться за счет введения наполнителей, модификации химической структуры эпоксидной матрицы, использования внутренних смазок, оптимизации технологии нанесения эпоксидных покрытий и т. д. [4–10]. Например, в работе [4] исследована износостойкость композитного покрытия «эпоксидная смола / Al_2O_3 ». Показано, что добавление низкомолекулярного полиамида и феноламинного композитного отвердителя в эпоксидную смолу может улучшить износостойкость покрытия. Этого эффекта можно также добиться введением наполнителя Al_2O_3 [4]. В статье [5] рассмотрены механические и трибологические свойства эпоксидных композитов, наполненных частицами графита. Показано, что с увеличением содержания графита улучшились показатели ударной вязкости и твердости, снижался коэффициент трения. Кроме того, с увеличением содержания графита резко уменьшалась скорость износа из-за образования слоя смазки на контактной поверхности, что эффективно снижало вероятность разрушения образца [5].

Работа [6] посвящена улучшению трибологических свойств эпоксидных покрытий за счет введения различных нанонаполнителей, таких как оксид графена, дисульфид молибдена и политетрафторэтилен (ПТФЭ). Например, добавление MoS_2 в эпоксидную смолу привело к снижению коэффициента трения на 90 %, в то время как композиты с 1,0 мас. % оксида графена и с 10 мас. % ПТФЭ показали снижение скорости износа и коэффициента трения на 88 %. Кроме того, при введении гибридных нанонаполнителей, таких как комбинации MoS_2 и графена, коэффициент трения за счет синергетического эффекта снизился на 99 % по сравнению с чистыми эпоксидными покрытиями [6]. Новые композиты эпоксидных смол с графеном были разработаны и в ходе исследования [9], где показано, что износостойкость композиции с 5 мас. % графена в 628 раз превышает износостойкость чистой эпоксидной смолы.

В исследовании [10] установлено, что добавление упрочняющих частиц TiO_2 и Al_2O_3 значительно улучшает механические и трибологические характеристики эпоксидного лакокрасочного композита.

В ряде работ показано, что отверждение эпоксидных материалов в постоянном электрическом поле приводит к созданию электретов с повышенными механическими характеристиками, в частности, твердостью [11–13] и износостойкостью покрытий.

В связи с вышесказанным было интересно создать эпоксидную композицию с повышенными значениями механических и трибологических характеристик за счет введения дисперсного наполнителя и применения постоянного электрического поля, что и явилось целью настоящей работы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для изготовления образцов композитов использовали эпоксидную смолу DER-331 (производитель The Dow Chemical Company), модифицированный аминный отвердитель (олигоамид, Л-20) и наполнитель в виде дисперсии графита марки ГС-1.

Эпоксидные композиции различного состава получали при стехиометрическом содержании смолы и отвердителя при различных температурах и временах отверждения. Для этого полученную смесением эпоксидной смолы и различных химических добавок (отвердителя, наполнителя) композицию помещали в металлическую форму с тефлоновым покрытием. После этого форму закрывали и выдерживали в термошкафу с определенной температурой $T_{отв}$ в течение заданного времени $\tau_{отв}$. Таким образом получался круглый образец толщиной 1 мм, стороны которого были сформированы нижней и верхней полуформами, а ребро – тефлоновым кольцом с внутренним диаметром 100 мм. Часть образцов отверждали при наложении постоянного электрического поля, подавая на полуформы постоянное напряжение $U_{нол} = 5\dots15$ кВ, в результате чего полуформы выполняли роль электродов (рис. 1).

Стоит отметить, что напряженность электрического поля между плоскими электродами можно рассчитать по формуле для однородного поля:

$$E = U / d,$$

где E – напряженность электрического поля, В/м; U – приложенное напряжение, В; d – расстояние между электродами, м (толщина образца).

В нашем случае $U = 5\ 000\dots15\ 000$ В, расстояние между электродами $d = 1$ мм или 0,001 м. Значит, $E = 5\ 000\ 000\dots15\ 000\ 000$ В/м = 5…15 МВ/м.

Диаметр электродов при таком приближении не влияет на значение напряженности, так как поле между плоскими электродами считается однородным, если зазор мал и края не оказывают значительного влияния на распределение поля.

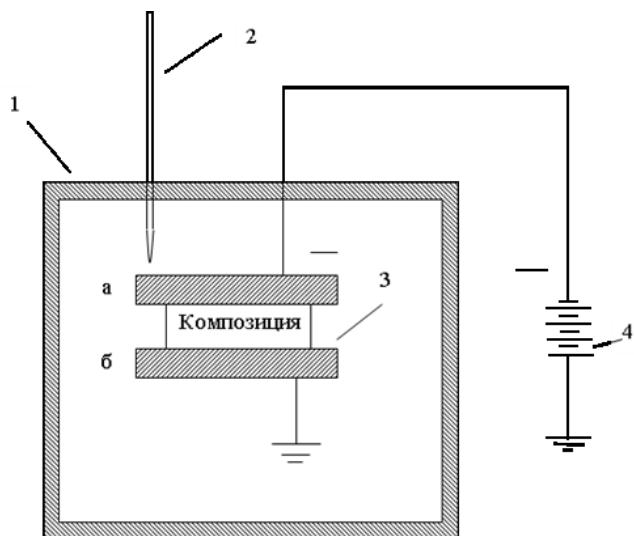


Рис. 1. Схема установки для отверждения эпоксидной композиции в постоянном электрическом поле: 1 – термошкаф; 2 – термометр; 3 – металлическая форма, состоящая из двух плоских полуформ (а – верхний электрод, б – нижний электрод); 4 – источник высокого напряжения

Содержание гель-фракции g определяли экстракцией измельченных пленок в аппарате Сокслета кипящим ацетоном в течение 24 ч с последующей сушкой до постоянной массы. Параметры электростатического поля (в частности, потенциал поверхности на 50-е сутки хранения V_{50} , время жизни электрета τ_{sc}) образцов, отверженных в постоянном электрическом поле, измерялись при помощи прибора ИПЭП-1. Твердость по Шору H_D определяли для отверженных образцов в соответствии с ГОСТ 24621-2015 на твердомере (дюрометре) HGIB. Прочность при разрыве σ_p (разрушающее напряжение при разрыве) измеряли в соответствии с ГОСТ 11262-2017.

Статический μ_s и кинетический μ_k коэффициенты трения исходных и поляризованных образцов определяли на приборе Thwing Albert FP-2260 Film Friction/Peel Tester. При измерении коэффициентов трения испытуемые образцы с помощью тросика, соединенного с силоизмерительным датчиком (усилие до 19,6 Н, погрешность 0,5...1 % во всем диапазоне чувствительности), приводились в движение по горизонтальной гладкой стальной поверхности со скоростью 152,4 мм/мин. Нормальная контактная нагрузка $N = 84,7$ мН создавалась весом образца (масса образцов 8,64 г). Температура измерения комнатная. Силоизмерительный датчик определяет сопротивление в начальный момент движения (статический коэффициент трения) и далее постоянно (кинетический коэффициент трения), после чего показывает среднее значение.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эпоксидные полимеры широко применяются в качестве защитных покрытий благодаря их отличной адгезии, химической устойчивости и механической прочности. Для отверждения достаточно часто используют модифицированный аминный отвердитель, в результате чего получается структура с хаотичным расположением структурных элементов, представленная на рис. 2а. На рис. 2б дано схематическое изображение фрагмента эпоксидной композиции с наложением постоянного электрического поля.

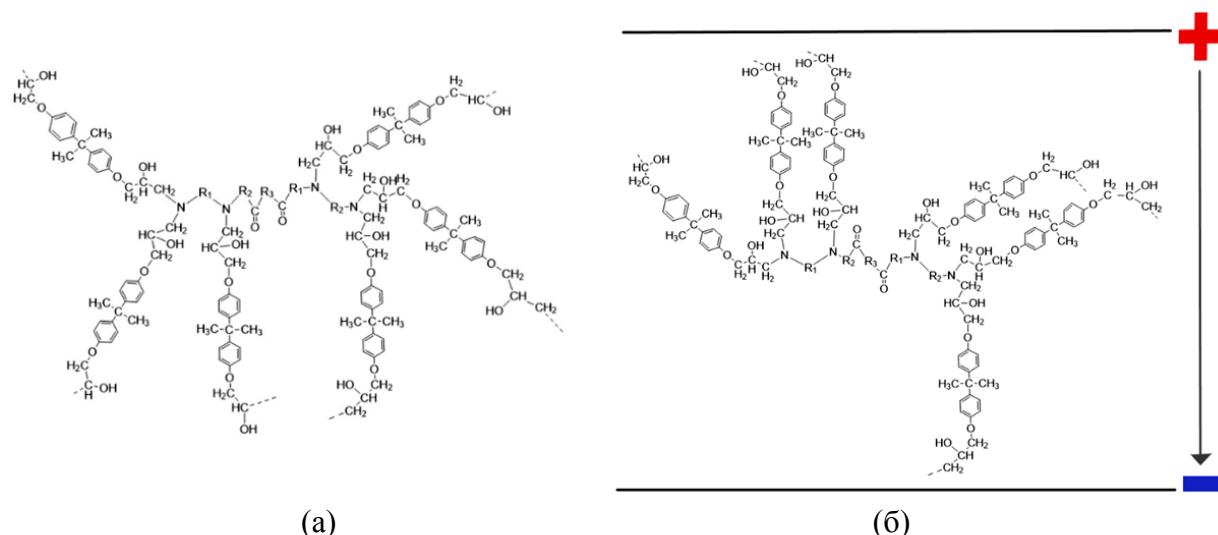


Рис. 2. Схематическое изображение фрагмента эпоксидной композиции, отверженной модифицированным аминным отвердителем без (а) и с наложением (б) постоянного электрического поля

Были установлены оптимальные параметры отверждения: $U_{nol} = 15$ кВ, $T_{ome} = 120^\circ\text{C}$, $\tau_{ome} = 180$ мин. Получаемый при этих условиях отверждения материал обладает достаточно хорошими физико-механическими характеристиками, в том числе твердостью и высоким разрушающим напряжением при разрыве (таблица, образец № 1).

С учетом того, что одним из твердых смазочных материалов, уменьшающих трение между контактирующими поверхностями и снижающих износ, является графит со слоистой кристаллической структурой [14], было предложено добавить его в состав композиции. Графит улучшает износостойкость изделий и покрытий благодаря тому, что действует сразу по нескольким механизмам. Во-первых, графитовые частицы усиливают полимерную матрицу, способствуют равномерному распределению нагрузки во время трения, уменьшая локальные концентрации напряжений, провоцирующие образование микротрещин и ускоренный износ. Во-вторых, частицы наполнителя позволяют повысить теплопроводность покрытий, снижая тем самым температурный износ и деформации. В-третьих, частицы графита наряду с механическим упрочнением обеспечивают пониженный коэффициент трения за счет образования на поверхности тонкой самосмазывающейся пленки, что особенно важно для узлов трения.

Исследования показали, что введение графита в состав эпоксидной композиции существенно снижает ее коэффициент трения, при этом изменения ее прочностных характеристик незначительны. Причем чем выше концентрация наполнителя, тем ниже значения статического и кинетического коэффициентов трения материала, но при этом снижаются показатели прочности. Было установлено, что оптимальное содержание графита в композиции составляет 4 мас. % (таблица, образец № 2).

Механические и трибологические характеристики композитов

№ образца	Состав композиции	g , %	V_{50} , кВ	$\tau_{жс}$, сут	σ_p , МПа	H_D	μ_s	μ_k
1	DER-331 + Л-20	97,7	0	0	45,5	82,7	1,12	0,95
2	DER-331 + Л-20 + + графит (4 мас. %)	97,8	0	0	46,7	83,3	0,32	0,28
3	DER-331 + Л-20	98,7	80	>1 095	48,1	83,0	1,11	0,95
4	DER-331 + Л-20 + + графит (4 мас. %)	98,8	120	>1 095	48,7	85,0	0,24	0,21

В работе [6] снижение коэффициента трения эпоксидного полимера при введении графита объясняется тем, что частицы наполнителя отклоняют траекторию развития трещин и предотвращают распространение микротрещин, образовавшихся в эпоксидной матрице при трении, препятствуя появлению следов износа, что в конечном счете снижает скорость износа покрытий. Данное объяснение можно применить и к разрабатываемым композициям.

Следующим этапом работы стала проверка возможности повышения механических характеристик эпоксидных материалов за счет их отверждения в постоянном электрическом поле. Эксперименты показали, что таким образом можно

незначительно (на 2...5 %, т. е. на уровне ошибки эксперимента) улучшить механические и трибологические показатели.

Как правило, для эпоксидных смол электрическая прочность составляет примерно 20...30 кВ/мм. Это значит, что при напряженности поля порядка 15 кВ/мм (как в нашем случае) напряженность поля ниже значения пробоя, и, следовательно, происходит поляризация материала. Поляризация эпоксидных полимеров – это процесс преимущественной ориентации электрически полярных группировок (например, эпоксидных и гидроксильных) в одном направлении внутри полимерной матрицы. Данные изменения схематически изображены на рис. 2б.

Показателем, свидетельствующим о наличии поляризованного состояния материала, может служить потенциал поверхности, который у эпоксидного полимера, отверженного в постоянном электрическом поле (т. е. поляризованного в процессе химического отверждения), составляет 580 В сразу после отверждения и 80 В на 50-е сутки хранения. Это вполне ожидаемо, так как поляризованные полимеры (электреты) изначально обладают высокими электретными свойствами, которые уменьшаются по экспоненциальной зависимости от времени хранения (эксплуатации).

Ориентация структурных элементов материала ведет к изменению его внутренней структуры в целом, что отражается на механических свойствах. К основным причинам некоторого повышения прочности и твердости эпоксидного полимера при поляризации можно отнести следующие:

повышается общий уровень упорядоченности в аморфной полимерной матрице, что уменьшает количество дефектов и свободного пространства между макромолекулами;

преимущественная ориентация электростатически активных группировок усиливает диполь-дипольное взаимодействие между цепями полимера, ковалентные и водородные связи становятся более направленными и плотными, что повышает жесткость матрицы;

упорядоченная ориентация снижает локальные колебания и подвижность молекулярных сегментов, в силу чего повышается сопротивление механическим деформациям.

Экспериментальные данные из литературных источников [11–13] подтверждают небольшое, но систематическое повышение прочности и твердости эпоксидных систем при ориентации полярных групп, что согласуется с данными физико-механических измерений. Безусловно, следует учитывать, что эффект повышенной прочности не всегда линейно пропорционален степени поляризации, поскольку избыточная ориентация может создавать внутренние напряжения и зоны концентрирования напряжений, потенциально способные инициировать дефекты.

Однако снижение значений статического и кинетического коэффициентов трения композиций эпоксидной смолы с графитом после поляризации при отверждении довольно значительно – на 25 % (см. таблицу, образец № 4). Вероятно, это связано с тем, что ориентация макромолекулярной структуры полимера сопровождается и ориентацией пластинчатых частиц графита, что повышает эффективность их действия.

Немаловажно отметить и повышенные значения потенциала поверхности композиций эпоксидной смолы с графитом – 120 В на 50-е сутки хранения (в 1,5 раза выше, чем у ненаполненного материала). Это говорит о большей стабильности поляризационного состояния эпоксидной композиции. Способность дисперсных наполнителей повышать потенциал поверхности поляризованных полимеров при их

введении в количестве 2...6 об. % [15–17] в основном связывалась с поляризацией Максвелла – Вагнера (на границе раздела фаз). В данном случае электропроводящие частицы дисперсий также могут служить поставщиками дополнительных инжектированных носителей зарядов, выполняющими свои функции и после снятия внешнего воздействия электрического поля.

Можно заметить, что приведенные в таблице значения гель-фракции эпоксидных полимеров (содержание несшитой части полимера) не достигают 100 %. Несшитая часть эпоксидного полимера обеспечивает ориентацию дипольных групп или сегментов макромолекул во время воздействия внешнего электрического поля, сохраняя тем самым способность материала к поляризации практически до окончания процесса отверждения. Высокое содержание гель-фракции обеспечивает сохранение поляризованного состояния на протяжении длительного срока хранения (эксплуатации) материала. Можно также предположить, что наличие несшитой части способствует доориентации частиц графита параллельно плоскости трения при работе изделия и, следовательно, понижению коэффициента трения материала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, комплексный подход, объединяющий выбор матрицы, внедрение наполнителя и наложение постоянного электрического поля в процессе отверждения, позволит существенно повысить износостойкость эпоксидных покрытий, что продлит срок их службы и расширит сферы практического применения.

Введение 4 мас. % графитового наполнителя в эпоксидную композицию незначительно упрочняет материал и существенно (в ~3, 4 раза) снижает статический и кинетический коэффициенты трения за счет формирования самосмазывающегося слоя.

Отверждение эпоксидных композитов в постоянном электрическом поле вызывает ориентированную поляризацию полимерной матрицы и ориентацию графитовых частиц, что ведет к повышению твердости материала на 2...5 % и снижению коэффициента трения на 25 %.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена за счет предоставленного в 2024 году Академией наук Республики Татарстан гранта № 5208 на осуществление фундаментальных и прикладных научных работ в научных и образовательных организациях, предприятиях и организациях реального сектора экономики Республики Татарстан.

ЛИТЕРАТУРА

1. Unnikrishnan K.P., Thachil E.T. Toughening of Epoxy Resins // *Designed Monomers and Polymers*. 2006. V. 9. № 2. P. 129–152.
2. Ковалева Е.Г., Радоуцкий В.Ю. Эпоксидные полимеры в строительстве: проблемы и перспективы // *Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова*. 2011. № 2. С. 39–42.
3. Колганов А.В. Наливные полы для промышленного и гражданского строительства // *Инженерные исследования*. 2021. № 1 (1). С. 33–37.
4. Xia S.Q., Wang L.G., Wang E.Z., Yue X. Study on the Wear Resistance of Al_2O_3 Particles Reinforced Epoxy Resin Composite Coating // *Advanced Materials Research*. 2013. V. 821. P. 1148–1151.

5. Ibrahim M.M., El-Tayeb N.S.M., Shazly M., El-Sayed Seleman M.M. An Experimental Study on the Effect of Graphite Microparticles on the Mechanical and Tribological Properties of Epoxy Matrix Composites // *Functional Composite Materials*. 2024. V. 5. № 1. P. 1–13.
6. Fuseini M., Zaghloul M.M.Y., Abakar D., Zaghloul M.M.Y. Review of Epoxy Nano-filled Hybrid Nanocomposite Coatings for Tribological Applications // *FlatChem*. 2025. V. 49. P. 100768.
7. Song L., Jiang T., Yu H., Zhou Y., Cao X., Wang P., Zhang B., Yu Z., Pan K., Wei S. Research Progress on the Tribological Properties of Epoxy-based Solid-lubricating Composites // *Polymer composites*. 2024. V. 45. № 18. P. 16452–16466.
8. Shan Z., Jia X., Li S., Li Y., Yang J., Fan H., Song H. Self-lubricating and Wear-resistant Epoxy Resin Coatings Based on the “Soft-hard” Synergistic Mechanism for Rapid Self-healing under Photo-thermal Conditions // *Chemical Engineering Journal*. 2024. V. 481. P. 148664.
9. Zhang. Z., Du Y., Zhu C., Guo L., Lu Y., Yu J., Parkin I.P., Zhao J., Guo D. Unprecedented enhancement of wear resistance for epoxy-resin graphene composites // *Nanoscale*. 2021. V. 13. № 5. P. 2855–2867.
10. Quraishi I.M., Chikalthankar S.B. Improving Wear Resistance of Epoxy Composites via Ceramic Nanoparticle Reinforcements by using Taguchi Technique // *Applied Science and Engineering Journal for Advanced Research*. 2025. V. 4. P. 18–25.
11. Мочалова Е.Н., Лимаренко Н.А., Галиханов М.Ф., Дебердеев Р.Я. Влияние количества отвердителя, температуры отверждения и поляризации на физико-механические характеристики эпоксиаминных клеевых композиций на основе олигомера DER-331 // *Клей. Герметики. Технологии*. 2016. № 6. С. 20–25.
12. Мочалова Е.Н., Галиханов М.Ф., Микрюкова Я.К. Электретные и прочностные свойства полимерных материалов на основе эпоксидного олигомера и аминных отвердителей // *Журнал прикладной химии*. 2019. Т. 92. Вып. 11. С. 1394–1400.
13. Musayev T.T., Mochalova E.N., Galikhanov M.F. Influence of the Nature of Curing Agents, Modifiers, and Fillers on the Functional Characteristics of Epoxy Polymers // *Construction Materials and Products*. 2025. № 8 (3). С. 1–21.
14. Фиалков А.С. Углерод, межслоевые соединения и композиты на его основе. М.: Аспект-пресс, 1997. 717 с.
15. Galikhanov M. Corona Electrets Based on Filler-Loaded Polymers: Structure, Properties and Applications // *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. 2022. V. 29. № 3. P. 788–793.
16. Ismayilova R.S., Kuliev M.M. Features of the Charge State of UHMWPE + α -SiO₂ Nanocomposites // *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2020. V. 56. № 3. P. 267–271.
17. Godzhaev E.M., Magerramov A.M., Zeinalov S.A., Osmanova S.S., Allakhayarov E.A. Coronoelectrets Based on Composites of High Density Polyethylene with a TlGaSe₂ Semiconductor Filler // *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2010. V. 46. № 6. P. 615–619.

Для цитирования: Галиханов М.Ф., Мочалова Е.Н., Мусаев Т.Т. Повышение механических и трибологических характеристик эпоксидных покрытий с введением графитового наполнителя и отверждением в постоянном электрическом поле // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2026. № 1 (29). С. 26–34.

IMPROVING THE MECHANICAL AND TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF EPOXY COATINGS WITH THE INTRODUCTION OF GRAPHITE FILLER AND CURING IN A CONSTANT ELECTRIC FIELD

M.F. GALIKHANOV¹, Dr. Sc., E.N. MOCHALOVA^{1,2}, Cand. Sc.,
T.T. MUSAEV^{1,2}, Postgraduate

¹Institute of Applied Research of the Tatarstan Academy of Sciences,
20, N.E. Baumana St., 420111, Kazan, e-mail: mgalikhhanov@yandex.ru

²Kazan National Research Technological University,
68, K. Marx St., 420015, Kazan, e-mail: enmochalova@mail.ru

The effect of the curing conditions of epoxy composites based on epoxy resin DER-331 and modified amine hardener L-20 and the introduction of a dispersed graphite filler on their mechanical and tribological properties is investigated. It has been experimentally shown that curing using an electric field leads to the orientation of polar groups and filler particles, which additionally increases hardness and reduces friction coefficients by 25%. Introduction of 4 wt. % graphite provides a significant reduction in the coefficient of friction and a slight hardening of the material, which improves its wear resistance. An integrated approach combining the choice of a matrix, the use of a filler and the application of a constant electric field during the curing process will increase the wear resistance of epoxy coatings, which will extend their service life and expand the scope of practical application.

Keywords: epoxy resin, modified amine hardener, graphite, polarization, coefficient of friction, strength, hardness.

Поступила в редакцию/received: 29.10.2025; после рецензирования/revised: 01.11.2025;
принята/accepted: 05.11.2025

УДК 621.891

DOI: 10.46573/2658-5030-2026-1-34-46

АНАЛИЗ ФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ АЛМАЗОСДЕРЖАЩЕЙ КЕРАМИКИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

О.О. НОВИКОВА, канд. техн. наук, В.В.НОВИКОВ, канд. техн. наук,
А.Н. БОЛОТОВ, д-р техн. наук

Тверской государственный технический университет,
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: onvk@mail.ru

© Новикова О.О., Новиков В.В., Болотов А.Н., 2026

В статье теоретически и экспериментально исследованы фрикционные свойства композиционного материала, представляющего собой керамическую матрицу из оксидов алюминия, легированную микродисперсными алмазами. Рассмотрены контактное взаимодействие и фрикционные характеристики данного материала в условиях упругого контакта микронеровностей в процессе установившегося режима изнашивания и при хрупком разрушении поверхностей в области высоких давлений. Результаты триботехнических испытаний подтвердили хорошие антифрикционные

Вестник Тверского государственного технического университета.
Серия «Технические науки». № 1 (29), 2026