

Исследование трибологических свойств фенолформальдегидных текстолитов, модифицированных минеральными дисперсными добавками

Study of the tribological properties of phenol-formaldehyde textolites modified with mineral disperse additives

Л.Ф. КЛАБУКОВА¹, М.О. ПАНОВА^{1,2}, А.П. КРАСНОВ², Н.А. РАХИМОВА³,
В.А. СОЛОВЬЕВА², Д.И. БУЯЕВ⁴, К.Ю. КОЛЫБАНОВ⁵

L.F. KLABUKOVA¹, M.O. PANOVA^{1,2}, A.P. KRASNOV², N.A. RAHIMOVA³,
V.A. SOLOV'EVA², D.I. BUYAEV⁴, K.Y. KOLYBANOV⁵

¹ ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»

² ФГБУН «Институт элементоорганических соединений имени А.Н. Несмеянова РАН»

³ ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

⁴ ООО «ОВИТЭК»

⁵ Российский технологический университет – МИРЭА

¹ D.Mendeleev University of Chemical Technology of Russia

² A.N.Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds of Russian Academy of Sciences

³ Volgograd State Technical University

⁴ OVITEK LLC

⁵ MIREA – Russian Technological University

maxi4@list.ru

В работе представлены результаты исследования фрикционных характеристик минеральных дисперсных наполнителей – графита и шунгита. Показано, что введение смеси этих дисперсных минеральных модификаторов в фенолформальдегидные текстолиты приводит к значительному улучшению их трибологических характеристик.

Ключевые слова: фенолформальдегидный полимер, графит, шунгит, текстолит, коэффициент трения, износ

The paper presents the results of a study of the frictional characteristics of mineral dispersed fillers — graphite and schungite. It is shown that the introduction of a mixture of these dispersed mineral modifiers into phenol-formaldehyde composites reinforced with cotton fabric leads to a significant improvement in tribological characteristics.

Keywords: phenol-formaldehyde polymer, graphite, schungite, textolite, coefficient of friction, wear

DOI: 10.35164/0554-2901-2020-11-12-20-22

Введение

Изучение трибохимических процессов в узлах трения направлено на создание более износостойких материалов с пониженным коэффициентом трения. Решение этих проблем связано с многими отраслями народного хозяйства и прямо связано со снижением потребления энергии. С целью улучшения антифрикционных характеристик волокноармированного фенолформальдегидного (ФФ) композита был выбран путь модификации связующего дисперсными наполнителями, позволяющий изменить свойства материала без изменения технологии производства. Важным фактором также выступает экономическая доступность сырья. Коллоидный графит и дисульфид молибдена широко применяют и по сей день в качестве твердых смазок [1].

Одним из перспективных направлений модификации ФФ композитов является использование в качестве модифицирующего наполнителя шунгита. Шунгит – это природный органосиликат сложного состава, одним из основных компонентов которого является фуллереноподобный шунгитовый углерод. Введение шунгита в состав композиционных материалов улучшает их технологические параметры, а именно: происходит снижение вязкости полимера, увеличивается его относительное удлинение [2]. При этом привлекает его доступность и дешевизна. Этот материал используют во многих отраслях промышленной химии, в том числе в качестве наполнителя резин и эпоксидных смол [3, 4].

Задачей данной работы являлось исследовать трибологические свойства ФФ текстолитов, модифицированных дисперсными минеральными добавками – графитом и шунгитом, а также смесями этих модификаторов.

Объекты и методы исследования

В качестве дисперсных модификаторов в работе использовался графит С-1 и шунгит. Испытание порошков проводилось на машине трения торцевого типа между двумя стальными поверхностями (диск Ø28 + стандартное контртело – втулка Ø22×12 мм). На диск Ø28 наносилось покрытие (0,02 г) из суспензии в этиловом спирте, далее проводилась сушка при $T = 30^\circ\text{C}$ в течение 30 мин. Скорость вращения при трении 0,5 м/с, $P = 0,04$ МПа. Продолжительность испытаний 30 минут. Микроструктура поверхности исследовалась при помощи оптической микроскопии в отраженном свете на лабораторном микроскопе «Биомед ММП-1». Приготовление смеси порошкообразных модификаторов проводили в мельнице барабанного типа М-10.

Для изготовления полимерных композиционных материалов были использованы хлопчатобумажная ткань МОСТ (ТУ 8318-002-00319285-97) и фенольный лак ФЭЛ-03 (ТУ 2221-026-48090685-2014) в качестве связующего. Дисперсные модификаторы в количестве 5 массовых процентов вводили в смолу, разбавленную этиловым спиртом, и затем пропитывали ткань. Далее для удаления спирта и влаги проводили сушку в течение суток в вытяжном

шкафу, а затем в термощкафу. Исследуемые образцы композиционного материала получали прямым прессованием из препрегов. Термообработка образцов проводилась в течение 6 часов в термощкафу при $T = 120^{\circ}\text{C}$. Трибологические свойства полученных композитов определяли на машине торцевого трения И-47 при скорости 0,5 м/сек., контртело – втулка уменьшенной площади, $P = 0,17$ МПа, продолжительность испытаний – 60 мин.

Обсуждение результатов

Для оценки антифрикционных свойств дисперсных добавок на начальном этапе исследования был использован метод трения между двумя стальными дисками. Фрикционные кривые представлены на рис. 1.

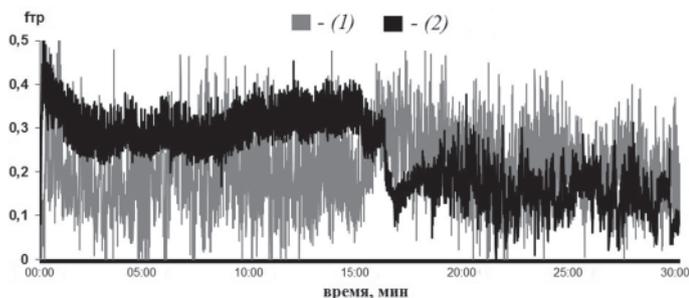


Рис. 1. Фрикционные кривые при трении порошков между двумя стальными дисками: (1) графит, (2) шунгит.

Как видно из графика (рис. 1.1), графит характеризуется низким коэффициентом трения (0,25) на протяжении всего испытания, однако амплитуда колебания довольно высока и составила ~0,4 f. Трение шунгита (рис. 1.2) делится на два этапа: в первые 15 мин. испытания коэффициент трения стабилен и составил ~0,3, затем происходит его снижение до ~0,15, сопровождаемое увеличением амплитуды колебания.

Для установления причин такого характера трения порошков графита и шунгита было проведено исследование поверхности контртела с помощью оптического микроскопа (рис. 2).

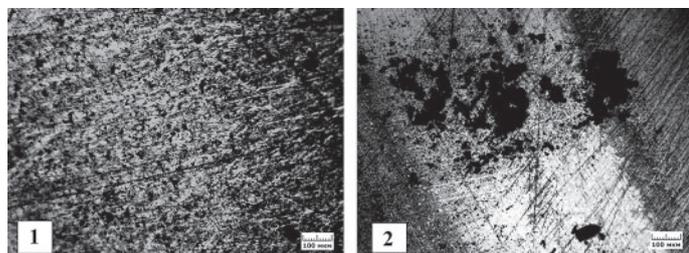


Рис. 2. Поверхность стального контртела после трения графита (1) и шунгита (2) (увеличение $\times 100$).

На микрофотографии (рис. 2.1) видно, что частицы графита относительно равномерно распределены по всей контрповерхности. При трении шунгита (рис. 2.2) происходит агрегация его частиц и, соответственно, неоднородное распределение на стальной поверхности, что приводит к дестабилизации процесса трения.

Такая тенденция сохраняется и при введении модификаторов в х/б текстолиты (рис. 3, табл. 1).

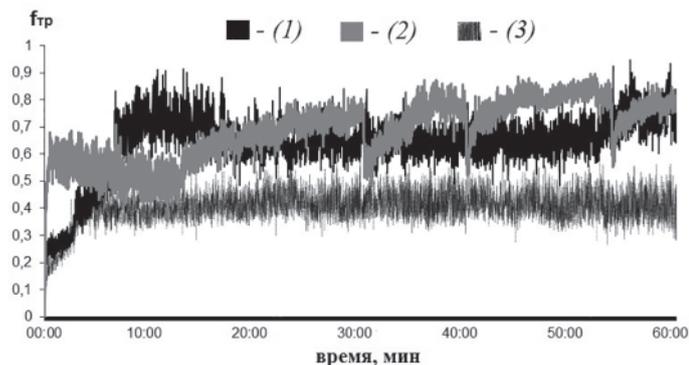


Рис. 3. Фрикционные кривые текстолитов: 1 – без модификации, 2 – модиф. 5% графита, 3 – модиф. 5% шунгита.

Модификация графитом снижает коэффициент трения, износ и температуру в зоне фрикционного контакта (рис. 3.2, табл. 1), однако амплитуда колебания коэффициента трения остается довольно высокой. Введение шунгита помогает снизить износ, амплитуду колебания коэффициента трения, но при этом его величина остается на уровне исходного ФФ композита и характер трения нестабилен (рис. 3.3), что приводит к значительному повышению температуры в зоне фрикционного контакта (табл. 1).

Таблица 1. Фрикционные характеристики текстолитов, модифицированных минеральными дисперсными добавками.

Модификатор	Износ образца, мг	Износ/привес контртела, мг	T_{max} в зоне фрикц. контакта, $^{\circ}\text{C}$
–	0,7	+ 0,1	39,3
графит	0,3	- 0,1	33,4
шунгит	0,4	0	49,2

На следующем этапе работы в текстолит вводили смеси шунгита с графитом. Предполагалось, что в этом случае распределение частиц шунгита в полимерной матрице будет более равномерным. Фрикционные характеристики композитов с различным соотношением модификаторов представлены на рис. 4 и в таблице 2.

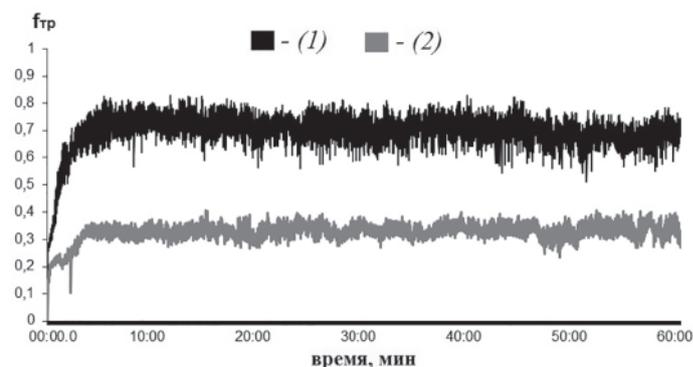


Рис. 4. Фрикционные кривые текстолитов, модифицированных смесями дисперсных минеральных порошков: 1 – 30% графит + 70% шунгит, 2 – 70% графит + 30% шунгит.

Как видно из графика (рис. 4.1, табл. 2), введение смесового модификатора, содержащего 30% графита и 70% шунгита, не приводит к улучшению трибологических свойств текстолита. Несмотря на стабильный характер трения, коэффициент трения остается высоким и снижается износостойкость. В то же время при модификации смесью с преобладающим количеством графита наблюдаются резкие изменения в трении композита: значительное снижение коэффициента трения и амплитуды колебания $f_{\text{тр}}$, низкая фрикционная температура и износ.

Таблица 2. Фрикционные характеристики текстолитов, модифицированных смесями минеральных дисперсных добавок.

Модификатор	Износ образца, мг	Износ/привес контртела, мг	T_{max} в зоне фрикц. контакта, $^{\circ}\text{C}$
30% графит 70% шунгит	0,9	0	42,3
70% графит 30% шунгит	0,2	+ 0,2	33,8

Важно отметить, что в данном случае наблюдался привес контртела. Вероятно, благодаря снижению агрегации шунгита и частичному переносу графита на стальную контрповерхность, ее дефекты сглаживаются, что позволяет сформировать при трении модифицированного композита полимер-минеральный смазывающий слой, состоящий из графита, шунгита и продуктов износа ФФ полимера.

Заключение

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о способности графита и шунгита формировать модифицированный слой на поверхности металла, их смеси могут применяться в качестве эффективной антифрикционной добавки фенолформальдегидных текстолитов.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Трибологические испытания проводили с использованием научного оборудования Института элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН.

Литература

1. Юдин А. С. и др. Дисперсные наполнители в трибологических полимерных волокноармированных материалах (поисковое исследование) // Вопросы материаловедения. – 2012. – Т. 4. – №. 72. – С. 231–239.
2. Rozhkova N. N. Shungite — a carbon-mineral filler for polymeric composite materials // Composite Interfaces. – 2001. – Vol. 8 – No. 3, 4 – P. 307–312.
3. Петрова Е. П., Рахимова Н. А. Разработка и создание рецептуры резинотехнических изделий с улучшенными эксплуатационными и экологическими характеристиками с использованием шунгита // Современные научные исследования и инновации. – 2016. – №.2. – С. 36–38.
4. Малков И. В., Макухин А. Г., Сыровой Г. В. Механизм модификации наночастицами полимерных композитов на основе эпоксидной матрицы // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – Т. 22. – №1. – С. 98–107.