

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Овчинников Е. В.¹, Хвусевич В. М.², Эйсымонт Е. И.¹, Веремейчик А. И.², Лявшук И. А.¹

- 1) Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, г. Гродно, Республика Беларусь
- 2) Брестский государственный технический университет, г. Брест, Республика Беларусь

В современных конструкциях машин и механизмов широко применяют композиционные триботехнические материалы, из которых изготавливают детали узлов трения и покрытия для деталей трения. Такие материалы разработаны на основе термопластичных полимерных матриц и содержат в качестве функциональных добавок сухие смазки, смазочные масла, легкоплавкие полимеры, порошки политетрафторэтилена, силикаты и т. п. [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Содержание функциональных модификаторов составляет от 1 % мас. до 40 % мас., что позволяет в широких пределах регулировать служебные характеристики композиционных материалов. Однако введение в состав матрицы значительных количеств наполнителей затрудняют их переработку и способность формировать из композита однородные малодефектные покрытия на металлических изделиях. При малом содержании модификаторов и наполнителей не обеспечивается требуемый технический эффект.

Разработан композиционный материал для триботехнических материалов на основе модифицированного полиамида 6, включающий гранулят или криогенно измельченный порошок ПА 6 и смесь частиц алмазоподобной и графитоподобной модификаций углерода [2]. Данные материалы обладают повышенными физико-механическими характеристиками, однако частицы УДА и УДАГ при агломерировании формируют области с повышенным коэффициентом трения.

Известен композиционный материал для триботехнических покрытий на основе полиамида, содержащий углеродный наполнитель и полимерный модификатор – полиэтилен [1]. При повышении нагрузочно-скоростных режимов эксплуатации полиолефин плавится и образует на поверхностях трения пленку, выполняющую функцию смазки. Недостатком покрытия из такого материал является сравнительно высокий коэффициент трения при «мягких» режимах эксплуатации.

Применяется композиционный триботехнический материал, содержащий гранулят или порошок полиамида 6, полимерный модификатор и сухую смазку [5]. В данном композиционном материале в качестве полимерного модификатора используют частицы полиамида 11 в смеси с политетрафторэтиленом, а в качестве сухой смазки используют слоистый силикатсодержащий минерал (каолинит, бентонит, монтмориллонит). Покрытия из данного композиционного материала обладают высокой износостойкостью и низким коэффициентом трения, в т. ч. при эксплуатации узла без подвода внешней смазки. Существенным недостатком аналога является необходимость тщательного сепарирования компонентов для обеспечения гомогенности покрытия.

Известен композиционный материал на основе модифицированного полиамида, содержащий углеродный наполнитель, представляющий собой смесь графита, углеводородного волокна и нанодисперсного углерода [1]. Модифицирование полиамида 6 полиолефином обеспечивает снижение коэффициента трения при повышенных эксплуатационных режимах вследствие плавления полиолефина, а введение в состав композиции сухой смазки повышает стабильность триботехнических характеристик. Недостатком покрытия является сравнительно высокий коэффициент трения при «мягких» режимах эксплуатации, при которых температура в зоне трения не достигает температур плавления модификатора (393 – 413 К).

Предлагаемым составом наноконпозиционного материала, в том числе и для триботехнических покрытий, является состав, содержащий гранулят или порошок полиамида 6, сухую модифицированную углеродную смазку, обработанную во фторсодержащей среде [5]. В данном композиционном материале в качестве полимерного модификатора используют порошок нанодисперсных углеродных частиц, обработанных в растворе фторсодержащего соединения с молекулярной массой от 1500 а. е. м. до 2800 а.е.м.

В качестве компонентов углеродного наполнителя использовали промышленный продукт марки УДА, выпускаемый ЗАО «Синта».. Дисперсность наночастиц продукта УДА составляла $2 \div 12$ нм.

В качестве фторсодержащих олигомеров использовали продукты с общей структурной формулой R_f-R_1 , где R_f – фторсодержащий радикал, R_1 – функциональная группа: OH, COOH, CF₃. Молекулярная масса таких олигомеров, выпускаемых под торговыми марками «Фолеокс», «Эпилам», составляют 2000–2200 ед.

Полученные образцы исследовали по истечении 24 часов, по общепринятым методикам. Триботехнические испытания проводили по схеме «палец-диск» при скорости скольжения 1 м/с и нагрузкой $5 \div 10$ МПа. Покрытие наносили на торцевую часть металлического образца из стали 45. Испытания проводили без смазки и со смазкой маслом И-20А, которую подавали в зону трения с помощью фитиля.

Таблица 1 – Составы композиционных материалов для триботехнических материалов

| Компонент | Содержание в материале, мас.% | | | | | | | | |
|---|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------|---------------------|
| | Прото-тип [5] | Заявляемые составы | | | | | | | |
| | | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII |
| 1. Полимерная матрица -полиамид 11 (Rilsan) – полиамид 6 | 99,0 - | - 99,6 | - 99,0 | - 98,0 | - 97,5 | - 95,0 | - 95,0 | 94,0 - | 97,0 - |
| 2. Углеродный наполнитель -графит - алмазо-подобная модификация углерода УДА | 1,0 - | - 0,2 | - 0,5 | - 1 | - 1 | - 2 | - 3 | - 4 | - 0,1 |
| 3. Фторсодержащий олигомер | - | 0,2 (фо- леокс) Ф-1 | 0,5 (фо- леокс) Ф-1 | 1 (фо- леокс) Ф-1 | 1,5 (фо- леокс) Ф-1 | 3,0 (фо- леокс) Ф-1 | 2,0 (фо- леокс) Ф-1 | 2,0 (эпи- лам) | 2 (фо- леокс) |

Триботехнические и прочностные характеристики композиционных материалов, полученных из представленных по прототипу и заявленным составам, приведены в таблицах 1–2. Как следует из данных таблиц 1–2, заявленные составы

в заявленном соотношении компонентов (составы II-VI) превосходит прототип по прочностным и триботехническим характеристикам. Превышение заявленного содержания (состав VII) не дает дальнейшего дополнительного эффекта, а уменьшение содержания (состав I) приводит к снижению эффекта. Модифицирование функционализированными углеродными наноразмерными частицами полиамидной матрицы на основе полиундеканамида приводит к возрастанию прочностных и триботехнических характеристик, однако данные значения ниже чем для полиамида 6, что обусловлено более низкими физико-механическими характеристиками базовой матрицы полиамида 11 по сравнению с полиамидом 6. Предварительная обработка нанодисперсных частиц алмаза фторсодержащими олигомерами приводит к формированию на поверхности полимер-олигомерной органической оболочки, что способствует более высокому термодинамическому совмещению низкоразмерных частиц алмаза в полимерной матрице.

Таблица 2 – Физико-механические характеристики функционализированных нанокomпозиционных материалов.

| Характеристика | Показатель для материала | | | | | | | | |
|---|--------------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Аналог [5] | Заявляемый состав | | | | | | | |
| | | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII |
| 1. Разрушающее напряжение при растяжении, МПа | 55 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 87 | 45 | 59 |
| 2. Твердость по Бринеллю, МПа | 70 | 76 | 79 | 81 | 83 | 82 | 81 | 55 | 69 |
| 3. Адгезионная прочность, н/м | | | | | | | | | |
| – исходная | 1,5 | 1,9 | 2,1 | 2,2 | 2,6 | 2,7 | 2,5 | 1,6 | 1,8 |
| – после одного часа кипячения в воде | 0,8 | 1,6 | 1,9 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,2 | 1,3 | 1,4 |
| 4. Коэффициент трения | | | | | | | | | |
| – без смазки | | | | | | | | | |
| при P=5 МПа | 0,20 | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 0,17 | 0,17 | 0,16 | 0,20 | 0,17 |
| P=10 МПа | 0,25 | 0,13 | 0,11 | 0,11 | 0,10 | 0,10 | 0,11 | 0,13 | 0,12 |
| – со смазкой | | | | | | | | | |
| при P=5 МПа | 0,15 | 0,13 | 0,12 | 0,10 | 0,10 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,12 |
| P=10 МПа | 0,10 | 0,10 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,10 | 0,10 | 0,10 |

В процессе трения, в результате наличия на поверхности углеродных частиц полимер-олигомерной фторированной оболочки, происходит образование разделительного слоя между трущимися поверхностями, содержащего фторированные компоненты. Наличие фторсодержащих соединений в третьем теле приводит к снижению коэффициента трения (составы I-VI). Таким образом показано, что концентрация функционализированных частиц в полимерной матрице, находящаяся в пределах от 0,5 % мас. до 2 % мас. позволяет обеспечить необходимый коэффициент трения для металлополимерных пар трения, значения которого находятся в пределах от 0,16 – 0,25 и предела прочности при растяжении нанокomпозиционного полимерного материала от 60 МПа до 90 МПа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 RU 2219212 C1, 2003.
- 2 RU 2223304 C1, 2004.
- 3 Довгяло, В. А. Композиционные материалы и покрытия на основе дисперсных полимеров / В. А. Довгяло, О. Р. Юркевич. – Минск: Наука и техника, 1992. – 256 с.
- 4 Песецкий, С. С. Исследование литевых адгезионных соединений полиамидов с металлами: Автореф. дис. ...канд. техн. наук / С. С. Песецкий. – Рига, 1980. – 16 с.
- 5 BY 10391 C1, 2006.
- 6 Rilsan. Проспект фирмы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Atofina. www.atofina.com. – Дата доступа 20.05.2020.

УДК 621.961

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ПОПЕРЕЧНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПУАНСОНА В ПРОЦЕССЕ ПРОБИВКИ

Онысько С.Р.¹, Чекап Н.М.², Мартиновская О.В.¹

1) Брестский государственный технический университет;

г. Брест, Республика Беларусь

2) Физико-технический институт НАН Беларуси;

г. Минск, Республика Беларусь

При изготовлении инструмента, работающего в условиях интенсивных ударных нагрузок, применяется высокохромистая сталь марки X12M. Анализ литературных источников [1-4] показывает, что срок службы деталей штампового оборудования зависит от степени проявления двух процессов, приводящих к разрушению торцевой поверхности инструмента – изнашивания и проявления усталости металла, в основе которых лежит многократная деформация поверхностного слоя, вызывающая постепенное нарастание наклепа на рабочей поверхности и охрупчивания последней, с последующим отделением частиц износа (изношенного материала). В связи с этим используемые для изготовления пробивного инструмента стали должны иметь рационально подобранное сочетание двух во многом противоположных свойств: достаточной твёрдости и повышенной вязкости [1].

При взаимодействии пробивного инструмента с обрабатываемой деталью нагрузка на пуансон должна распределяться равномерно по всему торцевому сечению (рисунок 1а) и равняться технологическому усилию пробивки. Однако при получении отверстий небольших диаметров возможно такое нагружение, когда с одного края рабочей кромки действующая нагрузка практически равна нулю, а к другому краю она линейно возрастает (рисунок 1б). Такой вид нагружения может приводить к искривлению пуансона [5] и появлению недопустимых изгибающих моментов. Основной причиной их возникновения является внецентренное приложение ударной нагрузки, вызванное рядом различных факторов (неточность изготовления инструмента, стабильность работы самого пресса, состояние поверхности листового материала и т.п.).