

УДК 620.179.4/.178.1:678.664;667.61:678.664

DOI 10.25140/2411-5363-2017-4(10)-86-93

Антон Клименко, Володимир Анісімов, Володимир Ситар

ВПЛИВ ТВЕРДИХ ШАРУВАТИХ НАПОВНЮВАЧІВ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ ФЕНІЛОНУ

Актуальність дослідження. Полімерні матеріали вже давно використовуються у багатьох галузях промисловості, вони часто використовуються як альтернатива металевим деталям. Водночас полімерні матеріали можуть перевіряти традиційні матеріали за деякими характеристиками, але поступаються за іншими. Нещодавно були розроблені полімерні матеріали з підвищеними адгезійними властивостями, тому актуальним завданням є вивчення їх фізико-механічних характеристик для оцінки перспектив їх використання у промисловості.

Постановка проблеми. Метою дослідження є визначення фізико-механічних характеристик полімерних матеріалів з високими адгезійними властивостями.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Є багато досліджень фізико-механічних характеристик різних типів полімерів, також розроблені полімери з високими адгезійними характеристиками.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Є багато досліджень фізико-механічних характеристик полімерів, але не вистачає інформації про матеріали з підвищеними адгезійними характеристиками на основі фенілону.

Мета дослідження. Метою є експериментальне вивчення фізико-механічних властивостей композиційних покриттів на основі фенілону, зокрема різних видів міцності, еластичності, мікроструктури та ін.

Виклад основного матеріалу. В статті проводиться загальний аналіз полімерів на основі фенілону, показано необхідність вивчення їх фізико-механічних характеристик. Далі представлені результати експериментальних досліджень різних типів сили, пружності, мікроструктури тощо.

Висновки. Встановлено, що більша частина запропонованих наповнювачів призводить до збільшення таких параметрів, як мікротвердість, зносостійкість, модуль пружності та деяке зниження міцнісних характеристик. Показано появу конгломератів частинок на поверхні покриття при частці наповнювача $>20\%$, що викликає зниження експлуатаційних властивостей покриттів.

Ключові слова: покриття; фенілон; фізико-механічні властивості; наповнювач.

Рис.: 6. Табл.: 1. Бібл.: 6.

Постановка проблеми. Полімерні матеріали знайшли широке застосування у вузлах тертя сучасних машин і механізмів [1-6]. Використання полімерів дозволяє збільшити надійність та ресурс машин, покращити їх експлуатаційні, техніко-економічні характеристики і технологічність, відмовитися від дефіцитних сплавів кольорових металів і знизити вартість машин.

Серед інших, перспективною є технологія покриття деталей машин зносостійким полімером – фенілоном замість використання цільної деталі з кольорового сплаву, що приводить до значної економії на матеріалі. Проте для використання цієї технології необхідно забезпечити не тільки високі фізико-механічні показники полімерного покриття, а й хороші показники адгезії покриття до основного матеріалу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Полімери використовуються як антифрикційний матеріал як у чистому вигляді, так і у вигляді композиційних матеріалів з різними наповнювачами [1; 3]. Прогресивним напрямком є їх використання у якості антифрикційне покриття [1].

Працездатність вузла тертя залежить від правильного вибору полімерного матеріалу, товщини функціонального шару, технологічних параметрів процесу формування покриття та багатьох інших факторів, які встановлюються з урахуванням умов і режимів експлуатації. Властивості фрикційних покриттів багато в чому визначаються складом композиції, змінюючи який можна у широких межах регулювати фрикційні характеристики.

Серед багатьох відомих полімерних матеріалів, за найбільш вдалим поєднанням властивостей для вузлів тертя, можна виділити ароматичні поліаміди [1-3]. Одним з перспективних термостійких полімерів триботехнічного призначення є ароматичний поліамід фенілон. Як антифрикційний матеріал фенілон використовується у важконавантажених вузлах тертя, які працюють при підвищених температурах.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Враховуючи достатньо високі значення коефіцієнта тертя фенілонового покриття (0,40-0,41), що

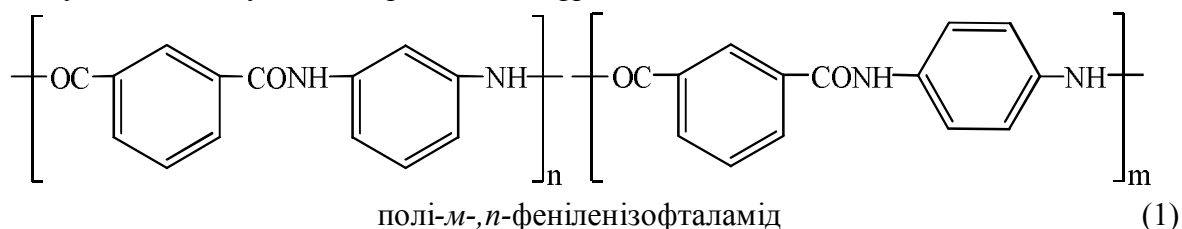
робить неможливим його використання у вузлах тертя, що працюють без змащування, до його складу вводять тверді шаруваті мастила, які широко використовуються для створення самозмащувальних матеріалів на основі полімерів: графіт, нітрид бору, дисульфід молібдену та фталоціанін міді.

Проте відомо [5], що поряд із високими показниками триботехнічних властивостей ароматичні поліаміди мають низьку адгезію до металів, що ускладнює отримання якісних покриттів. Зокрема, невідомий вплив твердих шаруватих наповнювачів на фізико-механічні властивості композиційних покриттів на основі фенілону.

Мета статті. Для практичного використання вищезазначених полімерних матеріалів, зокрема як антифрикційне покриття, необхідно дослідити їх фізико-механічні властивості, що і є метою цієї статті.

Виклад основного матеріалу. Об'єкти та методики досліджень. Об'єктами дослідження є ароматичний поліамід полі-*m*-,*n*-феніленізофталамід (фенілон С2), зокрема покриття з нього, та композиційні покриття на його основі, що містять функціональні наповнювачі.

Фенілон С2 (ТУ 6-05-226-72) являє собою лінійний гетероланцюговий полімер, макромолекули якого побудовані з ароматичних фрагментів, які з'єднані амідними зв'язками.



За зовнішнім виглядом – це високодисперсний порошок з розміром часток 20...40 мкм та насипною густиною 0,33 г/см³. Фенілон С2 отримують шляхом сумісної поліконденсації *m*-фенілендіаміну та *p*-фенілендіаміну з дихлорангідридом ізофталевої кислоти. Після синтезу має аморфну структуру з температурою склування $T_{\text{ск}} = 290^\circ\text{C}$, але в інтервалі температур 340...360 °C швидко кристалізується.

За комплексом фізико-механічних показників фенілон С2 перевершує переважну більшість промислових пластмас. Матеріали на його основі поєднують у собі високу тепло- і термостійкість, морозостійкість, міцність, жорсткість, хорошу пластичність, стійкість до ударних навантажень, високу втомну міцність, стабільність діелектричних характеристик, підвищену радіаційну й хімічну стійкість, та достатньо високу (до 260 °C) температуру тривалої експлуатації.

Як наповнювач використовували шаруваті тверді мастила, які широко використовуються для створення самозмащувальних матеріалів на основі полімерів: графіт, нітрид бору, дисульфід молібдену та фталоціанін міді. Обрані антифрикційні наповнювачі використовували у мілкодисперсному вигляді з розміром частинок 1...2 мкм. Вмістом наповнювача варіювали від 5 до 30 мас. %.

Полімерні покриття завтовшки 80...85 мкм отримували шляхом нанесення розчину фенілону на поверхню металевго субстрату, поверхню якого попередньо очистили та знежирили, з наступним випаровуванням розчинника шляхом сушки. Сушіння зразків здійснювали в сушильній шафі при температурі 145...200 °C протягом 30...60 хв. Температурно-часовий режим формування встановлювався виходячи з допустимої кількості залишку розчинника у складі покриття та його адгезійної міцності.

Перед нанесенням розчин перемішували в лопатеvй лабораторній мішалці з частотою обертання 60 об/хв протягом двох хвилин. Розроблена методика приготування покриттів дозволяє отримати хороше розподілення наповнювача в об'ємі полімерної матриці (рис. 1).

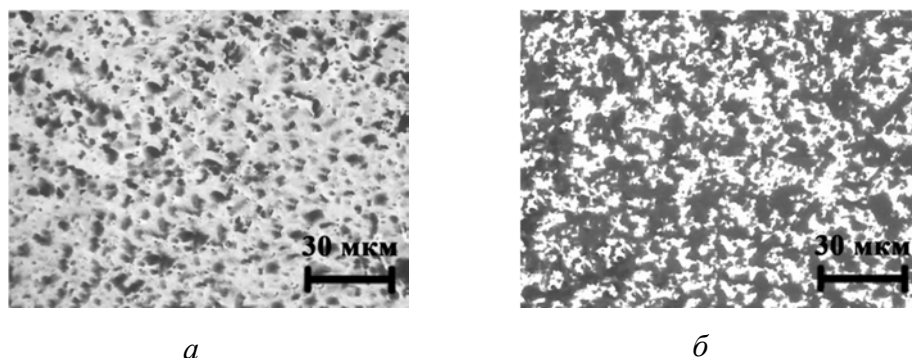


Рис. 1. Мікроструктура композиційних покриттів на основі фенілоу, що містять у своєму складі антифрикційний наповнювач:
а – графіт (5 мас.%); б – графіт (20 мас.%)

Мікроструктуру зразків полімерних покриттів вивчали за допомогою оптичного фотомікроскопа відбитого світла ПОЛАМ Р-312 при збільшеннях 450–500.

Мікротвердість покриттів (H_{μ}) вимірювали згідно з ГОСТ 9450-76 методом установленого відбитку на приладі ПМТ-3. Сутність методу полягає у нанесенні на поверхню зразка відбитка під дією статичного навантаження, що прикладене до алмазного накопечника протягом певного часу.

Визначення рівня адгезії покриттів до субстрату здійснювали методом решітчастих надрізів за ГОСТ 15140-78 (ISO 2409).

Вимірювання межі міцності при розтяганні (σ), відносного подовження (ϵ) при розриві та модуля пружності (E) покриттів виконували відповідно до ГОСТ 18299-72 на розривній машині 2167 Р-50.

Обговорення результатів досліджень. Випробування досліджуваних покриттів методом решітчастих надрізів (таблиця) показали високий бал (1–2) для всіх зразків з вмістом наповнювача понад 15 %. Найвищий бал має фенілонове покриття з вмістом 20 % фталоціаніну міді у своєму складі.

Таблиця

Результати випробування покриттів з антифрикційними наповнювачами методом решітчастих надрізів

Вміст наповнювача, мас.%	Результати випробування, бал			
	Дисульфід молібдену	Графіт	Нітрид бора	Фталоціанін міді
5	4	4	4	4
10	3	3	3	3
15	2	2	2	2
20	1–2	1–2	1–2	1
30	2	2	2	2

Встановлено, що введення у склад фенілонового покриття обраних наповнювачів призводить до деякого зниження механічних характеристик композиційних покриттів на його основі. Результати дослідження залежності межі міцності при розтяганні фенілонового покриття від кількості наповнювача (рис. 2) показали, що збільшення вмісту наповнювача призводить до зменшення значень міцності.

Зниження міцнісних властивостей фенілонових покриттів при наповненні, пояснюється тим, що полімер не може забезпечити достатнього зв'язку з частинками наповнювача на границі їх розподілу. Різке падіння міцності композиційних покриттів спостерігається при вмісті наповнювачів у кількості >20 мас. %.

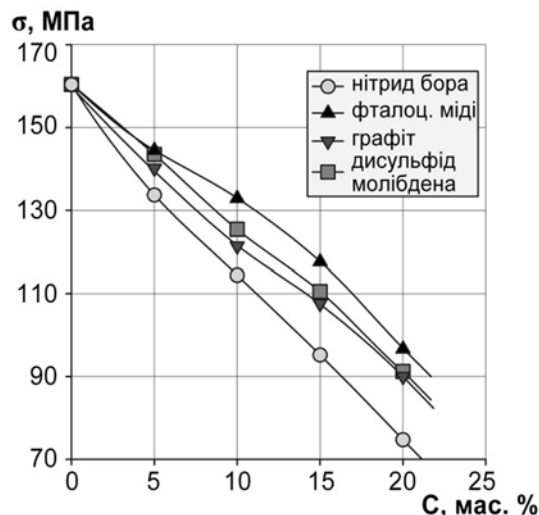


Рис. 2. Залежність межі міцності (σ) при розтяганні від вмісту наповнювача (C) у складі покриття

Встановлено вплив обраних наповнювачів і на деформаційні властивості композиційних покриттів на основі фенілону. Введення твердих частинок у фенілонове покриття призводить до обмеження рухливості надмолекулярних утворень та їх елементів в процесі деформування. У результаті чого підвищується їх опір до деформування та знижується величина відносного подовження при розтяганні (рис. 3).

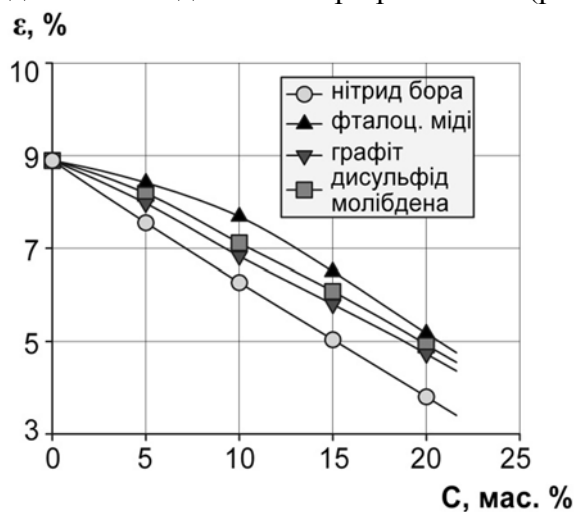


Рис. 3. Залежність відносного подовження (ϵ) від вмісту наповнювача (C) у складі покриття

Ще одна причина підвищення опору композиційних фенілонових покриттів до деформування та зниження величини їх граничної деформації пов'язана з тим, що модуль пружності твердих частинок обраних наповнювачів значно вище модуля пружності полімеру і наповнювачі не здатні до таких великих деформацій, як полімер. Тому заміщення частини об'єму полімеру твердими частинками наповнювача викликає зростання модуля пружності композиційного покриття (рис. 4), чим підвищує його опір до деформування.

Слід зазначити, що для досліджуваних фракцій 1–2 мкм тип наповнювача практично не впливає на характер отриманих концентраційних залежностей як міцнісних, так і деформаційних властивостей композиційних покриттів. Це можна пояснити відсутністю або незначною хімічною взаємодією між частинками наповнювача та полімерною матрицею для всіх обраних антифрикційних домішок, а також однотипною шаруватою структурою всіх наповнювачів.

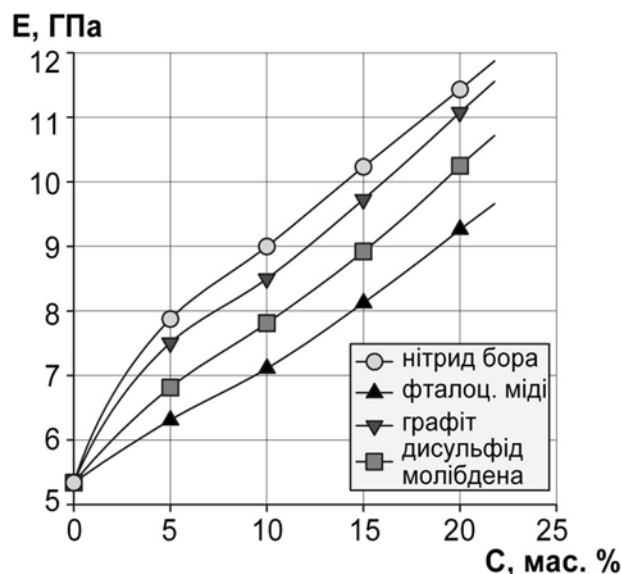


Рис. 4. Залежність модуля пружності (E) від вмісту наповнювача (C) у складі покриття

Важливим експлуатаційним параметром антифрикційного покриття є мікротвердість його поверхні. На рис. 5 представлена залежність мікротвердості композиційних покриттів від концентрації антифрикційного наповнювача.

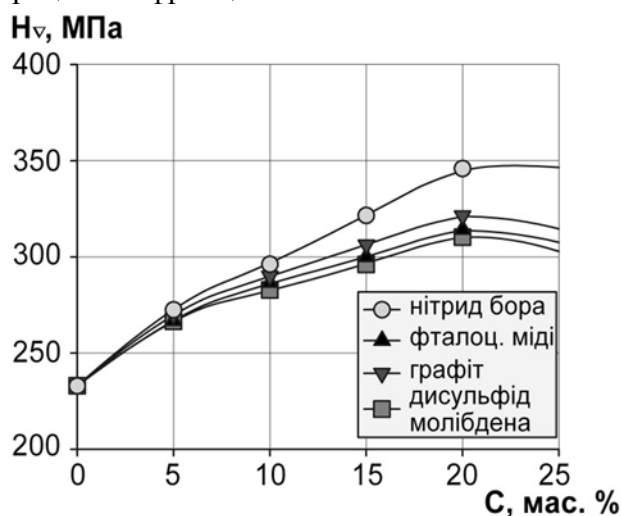


Рис. 5. Залежність мікротвердості (H_v) від вмісту наповнювача (C) у складі покриття

Встановлено, що збільшення концентрації наповнювача у складі покриття призводить до зростання мікротвердості, яке набуває свого максимального значення при вмісті наповнювача у кількості 20 мас.%. При подальшому збільшенні концентрації антифрикційного наповнювача у покритті мікротвердість починає падати.

Слід зауважити, що при вмісті наповнювача більше ніж 20 % на поверхні зразків можна спостерігати конгломерати з частинок наповнювачів. Відзначається також утворення на поверхні покриття мережевої структури, відомої як комірки Бенарда (рис. 6). Утворення такої структури пояснюється тим, що розчинник, який випаровується, піднімаючись з глибини покриття, захоплює із собою матеріал покриття. При цьому на одних ділянках нагору підіймається збагачений розчинником матеріал, на інших опускається збіднений з утворенням комірок, а зростання в'язкості перешкоджає вирівнюванню покриття, тобто виникає локальна різниця концентрацій компонентів покриття.

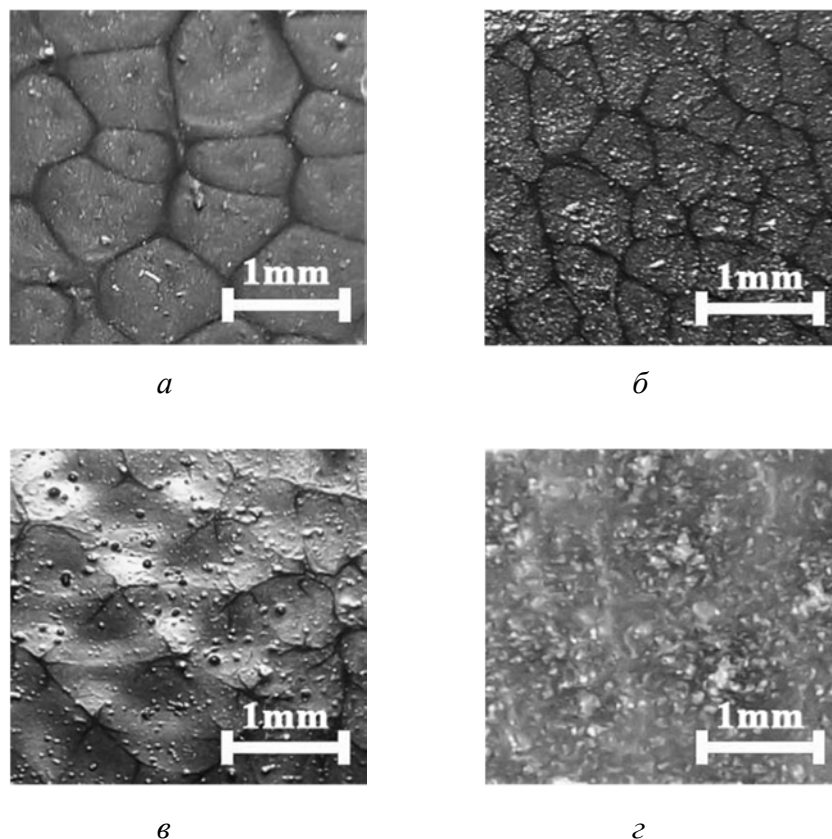


Рис. 6. Макроструктура поверхні композиційних покриттів на основі фенілону, що містять 30 мас.% наповнювача:
а – дисульфід молібдену; б – графіт;
в – фталоціанін міді; г – нітрид бору

Виходячи з отриманих результатів можна зробити висновок, що гранично допустима кількість антифрикційного наповнювача у складі фенілонового покриття, з огляду на наявність технологічних дефектів, становить 20 мас.%.

Висновки та пропозиції. Встановлено, що введення у фенілонове покриття таких антифрикційних наповнювачів, як фталоціанін міді, дисульфід молібдена, графіт та нітрид бору призводить до збільшення таких показників, як мікротвердість, зносостійкість, модуль пружності та деякого зниження міцнісних характеристик.

Встановлено, що при формуванні композиційних покриттів, що мають у своєму складі >20 % наповнювача на поверхні покриттів виявляються конгломерати частинок, а також комірки Бенарда, що мають негативний вплив на комплекс експлуатаційних властивостей покриттів.

Список використаних джерел

1. *Полимерные композиционные материалы в триботехнике* / Ю. К. Машков, З. Н. Овчар, М. Ю. Байбарацкая, О. А. Мамаев. – М. : Недра, 2004. – 262 с.
2. *Термостойкие ароматические полиамиды* / Л. Б. Соколов, В. Д. Герасимов, В. М. Савинов и др. – М. : Химия, 1967. – 256 с.
3. *Коршак В. В. Термостойкие полимеры* / В. В. Коршак. – М. : Наука, 1969. – 391 с.
4. *Adhesion of polymers* / F. Awaja, M. Gilbert, G. Kelly, B. Fox, P. Pigram // *Progress in Polymer Science*. – 2009. – № 34. – Pp. 948–968.
5. *Pocius A. V. Adhesion and Adhesives Technology* / A. V. Pocius. – Carl Hanser Verlag, Munich, 2012. – 370 p.
6. *Yang H. H. Aromatic high-strength fibers* / H. H. Yang. – New York : Wiley, 1989. – 248 p.

References

1. Mashkov, Iu.K., Ovchar, Z.N., Mamaev, O.A. (2004). *Polimernye kompozicionnye materialy v tribotekhnike [Polymer composites in tribotechnics]*. Moscow: Nedra (in Russian).
2. Sokolov, L.B., Gerasimov, V.D., Savinov, V.M. at al. (1967). *Termostoikie aromatcheskie poliamidy [Thermostable aromatic polyamides]*. Moscow: Khimiia (in Russian).
3. Korshak, V.V. (1969). *Termostoikie polimery [Thermostable polymers]*. Moscow: Nauka (in Russian).
4. Awaja, F., Gilbert, M., Kelly, G., Fox, B., Pigram, P. (2009). Adhesion of polymers. *Progress in Polymer Science*, no. 34, pp. 948–968.
5. Pocius, A.V. (2012). *Adhesion and Adhesives Technology*. Carl Hanser Verlag, Munich.
6. Yang, H.H. (1989). *Aromatic high-strength fibers*. New York: Wiley.

УДК 620.179.4/.178.1:678.664;667.61:678.664

Anton Klimenko, Volodymyr Anisimov, Volodymyr Sytar

IMPACT OF SOLID SPHERICAL FILLERS ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE COATINGS BASED ON PHENILONE

Urgency of the research. Polymer materials have been used in many industries for a long time; they are often used as an alternative to metal parts. At the same time, polymeric materials can exceed traditional materials in some characteristics, but inferior in others. Recently, polymeric materials with increased adhesion properties have been developed, so the actual task is to study their physical and mechanical characteristics for estimation of their usage in industry perspectives.

Target setting. Target is the physical and mechanical characteristics of the polymer materials with high adhesive properties.

Actual scientific researches and issues analysis. There are many researches of physical and mechanical characteristics of different types of polymers; also, there are polymers with high adhesive characteristics developed.

Uninvestigated parts of general matters defining. There are many researches of physical and mechanical characteristics of polymers, but there are not enough information about materials with increased adhesion characteristics based on phenilone.

The research objective. The objective is an experimental study of the physical and mechanical properties of composite coatings based on phenilone, in particular various types of strength, elasticity, microstructure, etc.

The statement of basic materials. In the beginning of the article, the general analysis of phenilone-based polymers is performed and necessity of its physical and mechanical characteristics study is shown. Then results of various types of strength, elasticity, microstructure, etc. characteristics experimental studies are presented.

Conclusions. It is found, that insertion the most part of proposed fillers causes to increase of such parameters as micro-hardness, wear resistance, modulus of elasticity and some reduction of strong characteristics. An appearance of particle conglomerates on coating surface at filler part >20% is shown, that causes decrease of operational properties of the coatings.

Key words: coating; phenilone; physical and mechanical properties; filler.

Fig.: 6. Tabl.: 1. Bibl.: 6.

УДК 620.179.4/.178.1:678.664;667.61:678.664

Антон Клименко, Владимир Анисимов, Владимир Сытар

ВЛИЯНИЕ ТВЕРДЫХ ШАРООБРАЗНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ФЕНИЛОНА

Полимерные материалы давно используют во многих отраслях промышленности, часто в качестве альтернативы металлическим деталям. При этом по отдельным характеристикам полимерные материалы могут превышать традиционные материалы, но по другим уступать. Недавно разработаны полимерные материалы с повышенными адгезионными свойствами, поэтому актуальной является задача исследования их физико-механических характеристик для оценки перспектив использования в промышленности.

Статья посвящена экспериментальному исследованию физико-механических свойств композиционных покрытий на основе фенилона, в частности различных видов прочности, упругости, микроструктуры и др.

Ключевые слова: покрытие; фенилон; физико-механические свойства; наполнитель.

Рис.: 6. Табл.: 1. Библ.: 6.

Клименко Антон Володимирович – кандидат технічних наук, асистент кафедри машинобудування та інженерної механіки, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет» (просп. Гагаріна, 8, м. Дніпро, 49000, Україна).

Клименко Антон Владимирович – кандидат технических наук, ассистент кафедры машиностроения и инженерной механики, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет» (просп. Гагарина, 8, г. Днепр, 49000, Украина).

Klimentko Anton – PhD in Technical Sciences, Assistant of Department of Machinery and Engineering Mechanics, State High Educational Department «Ukrainian State University of Chemical Technology» (8 Gagarin Av., 49000 Dnipro, Ukraine).

E-mail: 03udhtu021990@ukr.net

Анісімов Володимир Володимирович – кандидат технічних наук, асистент кафедри машинобудування та інженерної механіки, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет» (просп. Гагаріна, 8, м. Дніпро, 49000, Україна).

Анисимов Владимир Владимирович – кандидат технических наук, ассистент кафедры машиностроения и инженерной механики, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет» (просп. Гагарина, 8, г. Днепр, 49000, Украина).

Anisimov Volodymyr – PhD in Technical Sciences, Assistant of Department of Machinery and Engineering Mechanics, State High Educational Department «Ukrainian State University of Chemical Technology» (8 Gagarin Av., 49000 Dnipro, Ukraine).

E-mail: wwwovilon@gmail.com

Ситар Володимир Іванович – кандидат технічних наук, професор кафедри машинобудування та інженерної механіки, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет» (просп. Гагаріна, 8, м. Дніпро, 49000, Україна).

Ситар Владимир Иванович – кандидат технических наук, профессор кафедры машиностроения и инженерной механики, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет» (просп. Гагарина, 8, г. Днепр, 49000, Украина).

Sytar Volodymyr – PhD in Technical Sciences, professor of Department of Machinery and Engineering Mechanics, State High Educational Department «Ukrainian State University of Chemical Technology» (8 Gagarin Av., 49000 Dnipro, Ukraine).