



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **81465** (13) **U**  
(51) МПК (2013.01)  
**G01N 11/00**

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: **u 2013 02111**  
(22) Дата подання заявки: **20.02.2013**  
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **25.06.2013**  
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **25.06.2013, Бюл.№ 12**

(72) Винахідник(и):  
**Колосов Олександр Євгенович (UA),  
Сівецький Володимир Іванович (UA),  
Сідоров Дмитро Едуардович (UA),  
Сокольський Олександр Леонідович (UA),  
Пристаїлов Сергій Олегович (UA),  
Борщик Сергій Олександрович (UA),  
Колосова Олена Петрівна (UA),  
Кушнір Михайло Сергійович (UA),  
Коваленко Ксенія Геннадіївна (UA),  
Радич Юлія Володимирівна (UA),  
Куриленко Валерій Миколайович (UA),  
Педченко Анатолій Юрійович (UA),  
Романченко Марія Анатоліївна (UA)**

(73) Власник(и):  
**Колосов Олександр Євгенович,  
вул. Кошиця, 9, кв. 289, м. Київ-68, 02068 (UA)**

**(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕРТЯ КОВЗАННЯ ДЛЯ ПАРИ "ТЕРМОПЛАСТИЧНИЙ ПОЛІМЕР-СТАЛЬ" У ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ**

**(57) Реферат:**

Спосіб визначення коефіцієнта тертя ковзання для пари "термопластичний полімер-сталь" у залежності від температури використовують в дослідженні триботехнічних властивостей полімерів, зокрема термопластичних.

**UA 81465 U**



Корисна модель належить до способів визначення коефіцієнта тертя для пари "термопластичний полімер-сталь", і може бути використана в дослідженні триботехнічних властивостей полімерів, зокрема, термопластичних.

Відомий спосіб визначення коефіцієнта тертя, який сформулював ще в 1781 році Кулон,

5 який встановив, що сила тертя ковзання  $F_{\text{тер}}$  прямо пропорційна силі нормального тиску  $N$ :  
 $F_{\text{тер}} = k_{\text{тер}} \cdot N$ , де коефіцієнт пропорційності  $k_{\text{тер}}$  називається коефіцієнтом тертя. Згідно зі  
 способом аналога [1], коефіцієнт тертя визначають так. На похилу площину кладуть тіло, і,  
 змінюючи кут нахилу  $\alpha$  площини, домагаються рівномірного руху досліджуваного тіла по  
 похилій площині. У цьому випадку сила тертя дорівнює рушійній силі:  $F_{\text{тер}} = P \cdot \sin \alpha$ , де  $P$  -  
 10 тягнуче зусилля,  $H$ , а сила нормального тиску  $N$  дорівнює величині  $P \cdot \cos \alpha$ . З формули  
 Кулона випливає, що  $P \cdot \sin \alpha = k_{\text{тер}} \cdot P \cdot \cos \alpha$ , або  $k_{\text{тер}} = \tan \alpha$ , тобто коефіцієнт тертя  $k_{\text{тер}}$  - це  
 тангенс кута  $\tan \alpha$ , при якому тіло з постійною швидкістю ковзає по похилій площині.

Недоліком способу аналога є складність його застосування для визначення коефіцієнта тертя пари "термопластичний полімер-сталь" у залежності від температури.

15 Як найбільш близький аналог вибраний спосіб визначення коефіцієнта тертя ковзання  
 електроізоляційних полімерних плівок і листових матеріалів, зокрема, для пари "полімер-сталь"  
 [2]. Згідно з цим способом, визначають т.зв. коефіцієнт початкового тертя ковзання і  
 кінематичний коефіцієнт тертя ковзання полімерних плівкових чи листових матеріалів певного  
 20 розміру при їх горизонтальному ковзанні один по одному або по іншим матеріалам, зокрема, по  
 сталі. При цьому кожен із вищевказаних коефіцієнтів визначають як частку від ділення величини  
 відповідного навантаження (показання за шкалою приладу, виконаного у вигляді пружинного  
 динамометра, відповідного початку руху ползків,  $g$ , і показання за шкалою приладу,  
 відповідного сталому рівномірному ковзанню зі швидкістю  $V = \text{const}$  ползків,  $g$ ), на масу  $m$   
 25 ползків, виконаних у вигляді металевої прямокутної пластини певної маси, до якої надійно  
 прикріплений плоский зразок випробуваного полімерного матеріалу.

Недоліком способу аналога є складність його застосування для визначення коефіцієнта тертя пари "термопластичний полімер-сталь" у залежності від температури, та відсутність відповідної аналітичної залежності.

30 В основу корисної моделі поставлена задача підвищення достовірності й універсальності  
 розроблюваного способу визначення коефіцієнта тертя ковзання пари "термопластичний  
 полімер-сталь" у залежності від температури та від досліджуваного термопластичного  
 матеріалу, шляхом встановлення відповідної експериментально-статистичної залежності, що  
 приведе до скорочення часових та матеріальних витрат на визначення відповідного коефіцієнту  
 при варіюванні температури у заданому діапазоні.

35 Поставлена задача вирішується тим, що у способі визначення коефіцієнта тертя ковзання  
 для пари "термопластичний полімер-сталь" у залежності від температури, відповідно до якого  
 прикріплюють плоский зразок випробуваного термопластичного полімерного матеріалу до  
 ползків, наприклад, у вигляді прямокутної пластини, вимірюють масу вантажу, що притискає  
 40 ползки з досліджуваним зразком полімерного термопластичного матеріалу, забезпечують  
 стале рівномірне ковзання з постійною швидкістю ползків з досліджуваним полімерним  
 термопластичним матеріалом по сталевій поверхні і вимірюють, наприклад, динамометром,  
 зусилля рівномірного ковзання, після чого визначають коефіцієнт тертя для досліджуваної пари  
 "термопластичний полімер-сталь" як частку від ділення величини відповідного навантаження на  
 45 масу ползків з прикріпленим плоским зразком досліджуваного термопластичного полімерного  
 матеріалу, новим є те, що, задають границі інтервалу варіювання температур, визначають  
 коефіцієнт тертя для досліджуваної пари "термопластичний полімер-сталь" для змінних значень  
 температури в межах інтервалу варіювання температур, а прогнозування триботехнічних  
 властивостей у вигляді коефіцієнта тертя для пари "термопластичний полімер-сталь" у  
 залежності від температури знаходять за допомогою математичної моделі у вигляді рівняння:

$$50 \quad k_{\text{тер}}(T) = c_5 \cdot T^5 + c_4 \cdot T^4 + c_2 \cdot T^2 + c_1 \cdot T + c_0,$$

де  $T$  - вхідний змінний параметр, що означає температуру вимірювань,  $^{\circ}\text{C}$ ,

а  $c_0, c_1, c_2, c_4, c_5$  - константи рівняння, що підлягають визначенню.

Здійснюють визначення коефіцієнта тертя  $k_{\text{тер}}$  для пари "термопластичний полімер-сталь" у залежності від температури  $T$ , значення якої вибирають довільно в межах границі інтервалу

варіювання температур, що становить (60-200)°C, або з постійним кроком через кожні 10 °C, при цьому верхнє значення температурного інтервалу вибирають з урахуванням запобігання термодеструкції досліджуваного термопласту.

5 Шукану залежність коефіцієнта тертя  $k_{\text{тер}}$  для пари "термопластичний полімер-сталь", де як термопластичний полімер використовують поліетилен високої об'ємної густини марки ПЕВГ 18802-020, у залежності від температури  $T$  знаходять за допомогою математичної моделі у вигляді рівняння:

$$k_{\text{тер}}(T) = -1 \cdot 10^{-9} T^5 + 7 \cdot 10^{-7} T^4 + 0,013 T^2 - 0,617 T + 1,112$$

Перераховані ознаки способу складають сутність корисної моделі.

10 Наявність причинно-наслідкового зв'язку між сукупністю істотних ознак корисної моделі і технічним результатом, що досягається, полягає в наступному.

15 Полімерні матеріали широко застосовуються у вузлах тертя сучасних машин і механізмів. Використання пластмас дозволяє збільшити надійність і ресурс машин, поліпшити їх експлуатаційні, техніко-економічні характеристики й технологічність, відмовитися від дефіцитних сплавів кольорових металів і понизити вартість машин.

20 Пластмаси підрозділяються на термопластичні й термореактивні. До термопластичних відносять пластмаси з лінійною або розгалуженою структурою полімерів, властивості яких зворотно змінюються при багатократному нагріванні й охолодженні. До термореактивних пластмас належать полімери, в яких при термічній дії виникають реакції хімічного скріплення ланцюгових молекул одна з одною з утворенням сітчастої будови. Такі пластмаси не можуть переходити в пластичний стан при підвищенні температури без порушення просторових зв'язків у структурі полімеру.

25 Полімери (термопластичні й термореактивні) можуть використовуватися як антифрикційні матеріали як у чистому вигляді, так і у вигляді композиційних матеріалів з різними наповнювачами. З полімерних матеріалів виготовляють, зокрема, зубчаті колеса, шківи, елементи підшипників ковзання, що труться, кулачкових механізмів, напрямних, ущільнень, сепаратори шарикопідшипників, втулки шарнірів і т.д.

30 Антифрикційні матеріали на основі термопластів відрізняють висока технологічність, низька собівартість, хороші демпфуючі властивості. Деталі з термопластів виготовляють високопродуктивними методами - литвом під тиском і екструзією; великогабаритні деталі - відцентровим литвом, ротаційним формуванням, аніонною полімеризацією мономеру безпосередньо у формі, нанесенням антифрикційних покриттів з розплавів, порошків, дисперсій.

35 Термореактивні полімери обробляються переважно методами компресійного і ливарного пресування, вони більш міцні і термостійкі. Порошкоподібні термореактивні композиції наносять на поверхні деталей, що труться, у вигляді тонких покриттів.

40 У свою чергу, тертя являє собою складний комплекс механічних, електронних та хімічних явищ. Величина сили тертя ковзання залежить не тільки від матеріалу, шорсткості поверхні, тиску і відносно швидкості ковзання, але й від цілого ряду інших причин: вологості температури і т.п. Врахувати вплив всіх факторів не представляється можливим, тому обмежуються наближеним визначенням значення сили тертя за законом Кулона: "Сила тертя ковзання пропорційна силі, нормальній до поверхні дотичних тіл, залежить від роду труття, і не залежить від величини тертьових поверхонь" [1]. Так як

$$F_{\text{тер}} = k F_{\text{прит}}, \quad (1)$$

де  $k_{\text{тер}}$  - коефіцієнт тертя, що є безрозмірною величиною, отримаємо:

$$45 \quad k_{\text{тер}} = \frac{F_{\text{тер}}}{F_{\text{прит}}} = \frac{F_{\text{тер}}}{Mg}, \quad (2)$$

де  $M$  - маса вантажу, що притискає досліджуваний полімерний зразок, кг;

$g$  - прискорення вільного падіння,  $m/s^2$ .

50 Розроблений спосіб ілюструється фіг. 1 і фіг. 2, де на фіг. 1 зображено розрахункову схему для визначення коефіцієнта тертя ковзання, а на фіг. 2 зображено графічну залежність коефіцієнта тертя ковзання поліетилену високої об'ємної густини марки ПЕВГ 18802-020 від температури.

На фіг. 1 прийняті наступні позначення:  $F_{\text{тер}}$  - сила тертя (показання динамометра), Н;  $F_{\text{прит}}$  - сила притискання, Н;  $V$  - постійна швидкість руху полімерного зразка із полозками, м/с; на фіг. 2 на осі абсцис позначено температурний діапазон 60-200 °C.

Розроблений спосіб реалізують наступним чином.

Прикріплюють плоский зразок випробуваного термопластичного полімерного матеріалу до полозків, наприклад, у вигляді прямокутної пластини. Після цього досліджуваний зразок полімерного термопластичного матеріалу притискають до полозків вантажем вагою  $Mg$ . Далі забезпечують стале рівномірне ковзання з постійною швидкістю полозків з досліджуваним полімерним термопластичним матеріалом по досліджуваній сталевій поверхні і вимірюють, наприклад, динамометром, зусилля рівномірного ковзання цієї пари.

Задають границі інтервалу варіювання температур в межах інтервалу варіювання температур  $T$ , значення якої вибирають довільно в межах границі інтервалу варіювання температур, що становить, зокрема, 60-200 °С, або з постійним кроком через кожні 10 °С.

Потім визначають коефіцієнт тертя для досліджуваної пари "термопластичний полімер-сталь" за заданої температури як частку від ділення величини відповідного навантаження на масу полозків з прикріпленим плоским зразком досліджуваного термопластичного полімерного матеріалу  $k_{тер}$  відповідно до (2).

Прогнозування триботехнічних властивостей у вигляді коефіцієнта тертя для пари "термопластичний полімер-сталь" у залежності від температури знаходять за допомогою математичної моделі у вигляді рівняння:

$$k_{тер}(T) = c_5 \cdot T^5 + c_4 \cdot T^4 + c_2 \cdot T^2 + c_1 \cdot T + c_0, \quad (3)$$

де  $T$  - вхідний змінний параметр, що означає температуру вимірювань, °С, а  $c_0$ ,  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_4$ ,  $c_5$  - константи рівняння, що підлягають визначенню. Крім того, шукану залежність коефіцієнта тертя  $k_{тер}$  для пари "термопластичний полімер-сталь", де як термопластичний полімер використовують поліетилен високої об'ємної густини марки ПЕВГ 18802-020, у залежності від температури  $T$  знаходять за допомогою математичної моделі у вигляді рівняння:

$$k_{тер}(T) = -1 \cdot 10^{-9} T^5 + 7 \cdot 10^{-7} T^4 + 0,013 T^2 - 0,617 T + 1,112. \quad (4)$$

Дане рівняння (3) може бути використано для наближеного обчислення коефіцієнта тертя при заданій температурі, зокрема, для ПЕВГ марки 18802-020, відповідно до (4).

За даним способом можна розрахувати коефіцієнт тертя для пари "термопластичний полімер-сталь" при варіюванні температури у заданому діапазоні значень.

Джерела інформації:

1. Гриб В.В., Лазарев В.Е. Лабораторные испытания материалов на трение. - М., Наука, 1968.-144 с.

2. ГОСТ 27492-87. Материалы электроизоляционные полимерные пленочные и листовые. Метод определения коэффициентов трения.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Спосіб визначення коефіцієнта тертя ковзання для пари "термопластичний полімер-сталь" у залежності від температури, відповідно до якого прикріплюють плоский зразок випробуваного термопластичного полімерного матеріалу до полозків, наприклад, у вигляді прямокутної пластини, вимірюють масу вантажу, що притискає полозки з досліджуваним зразком полімерного термопластичного матеріалу, забезпечують стале рівномірне ковзання з постійною швидкістю полозків з досліджуваним полімерним термопластичним матеріалом по сталевій поверхні і вимірюють, наприклад, динамометром, зусилля рівномірного ковзання, після чого визначають коефіцієнт тертя для досліджуваної пари "термопластичний полімер-сталь" як частку від ділення величини відповідного навантаження на масу полозків з прикріпленим плоским зразком досліджуваного термопластичного полімерного матеріалу, який **відрізняється** тим, що задають границі інтервалу варіювання температур, визначають коефіцієнт тертя для досліджуваної пари "термопластичний полімер-сталь" для змінних значень температури в межах інтервалу варіювання температур, а прогнозування триботехнічних властивостей у вигляді коефіцієнта тертя для пари "термопластичний полімер-сталь" у залежності від температури знаходять за допомогою математичної моделі у вигляді рівняння:

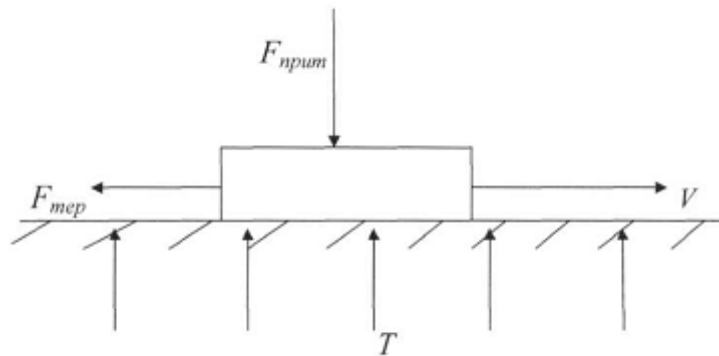
$$k_{тер}(T) = c_5 \cdot T^5 + c_4 \cdot T^4 + c_2 \cdot T^2 + c_1 \cdot T + c_0,$$

де  $T$  - вхідний змінний параметр, що означає температуру вимірювань,  $^{\circ}\text{C}$ , а  $c_0, c_1, c_2, c_4, c_5$  - константи рівняння, що підлягають визначенню.

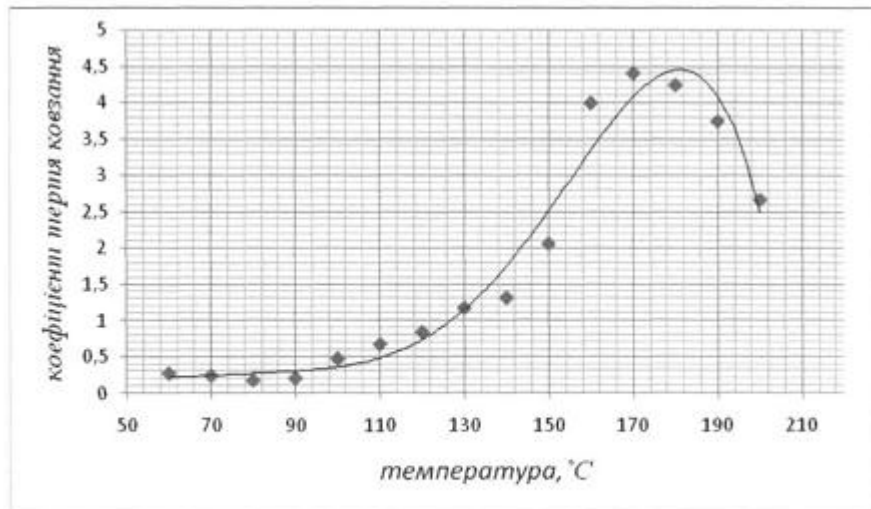
2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що здійснюють визначення коефіцієнта тертя  $k_{\text{тер}}$  для пари "термопластичний полімер-сталь" у залежності від температури  $T$ , значення якої вибирають довільно в межах границі інтервалу варіювання температур, що становить  $60\text{-}200^{\circ}\text{C}$ , або з постійним кроком через кожні  $10^{\circ}\text{C}$ , при цьому верхнє значення температурного інтервалу вибирають з урахуванням запобігання термодеструкції досліджуваного термопласту.

3. Спосіб за п. 2, який **відрізняється** тим, що шукану залежність коефіцієнта тертя  $k_{\text{тер}}$  для пари "термопластичний полімер-сталь", де як термопластичний полімер використовують поліетилен високої об'ємної густини марки ПЕВГ 18802-020, у залежності від температури  $T$  знаходять за допомогою математичної моделі у вигляді рівняння:

$$k_{\text{тер}}(T) = -1 \cdot 10^{-9} T^5 + 7 \cdot 10^{-7} T^4 + 0,013 T^2 - 0,617 T + 11,12.$$



Фіг. 1



◆ — експериментальні дані

Фіг. 2

Комп'ютерна верстка Д. Шеверун

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601