

**СТВОРЕННЯ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ З ПОЛІПШЕНИМИ  
ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ  
РЕСУРСУ РОБОТИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

**M.V. Brailo, Ph.D., Assoc. Prof., S.V. Yakushchenko, Ph.D., V.V. Sotsenko,  
A.V. Sapronova, L.V. Selifonova, T.G. Puskova**

**CREATION OF EPOXY COMPOSITES WITH IMPROVED PERFORMANCE  
CHARACTERISTICS TO INCREASE THE SERVICE LIFE OF VEHICLES**

**Постановка проблеми.** З метою підвищення ресурсу роботи деталей і механізмів засобів транспорту є важливим застосування матеріалів, які відрізняються підвищеними показниками фізико-механічних та трибологічних характеристик. Основним завданням сучасного матеріалознавства є розробка матеріалів, які у комплексі відрізняються поліпшеними характеристиками, що дозволяє підвищити міжремонтний період експлуатації та забезпечує безвідмовність. В даному напрямку перспективним є застосування полімерних матеріалів, зокрема на основі епоксидних смол. Тому створення наповнених епоксидних композитів з поліпшеними фізико-механічними та трибологічними властивостями є актуальним напрямком дослідження для матеріалознавства та транспортної галузі.

**Мета роботи** – розробити епоксидні композити з поліпшеними експлуатаційними характеристиками для підвищення ресурсу роботи транспортних засобів.

У роботі для дослідження трибологічних властивостей було використано попередньо розроблену матрицю наступного складу: матриця на основі епоксидної смоли СНS-Ероху 525 ( $q = 100$  мас. ч.) і твердників: ПЕПА + Telalit 410 ( $q_1 + q_2 = 5 + 5$  мас. ч.), сформована при температурі зшивання  $T = 433$  К. Використовували розроблені КМ на основі двокомпонентних бідисперсних наповнювачів наступного складу. Матеріал, наповнений частками сірого шламу (СШ) (дисперсність 63...80 мкм) та перліту (дисперсність 5...10 мкм) у співвідношенні 50 : 50 (матеріал СШП) [16]. Досліджували трибологічні властивості матеріалів на випробувальній машині серійного виробництва 2070 СМТ-1 за схемою «диск-колодка» і методикою відповідно до ASTM G77-17.

На першому етапі досліджували трибологічні властивості в умовах морської води наступних матеріалів: 1) матриця на основі епоксидної смоли СНS-Ероху 525 ( $q = 100$  мас. ч.) і твердників: ПЕПА + Telalit 410 ( $q_1 + q_2 = 5 + 5$  мас. ч.) (рис. 1, а, б); 2) матеріал СШП з двокомпонентним бідисперсним наповнювачем (рис. 1, в, г). Швидкість ковзання становила  $v = 0,5$  м/с та  $v = 1,0$  м/с, питома навантаження  $P = 2,7$  МПа [14, 15]. Результати трибологічних досліджень наведено на рис. 1 та у табл. 1.

При дослідженні матриці експериментально встановлено, що за підвищення швидкості ковзання від  $v = 0,5$  м/с (рис. 1, а) до  $v = 1,0$  м/с (рис. 1, б) трибологічні властивості матеріалу відрізняються не суттєво. При цьому робочий коефіцієнт тертя становить  $f = 0,175...0,190$ , робочий момент тертя  $M = 2,4...2,6$  Н×м, а інтенсивність зносу  $I_m = 0,3...0,5$  мг/км (табл. 1).

Водночас, при підвищенні швидкості, спостерігали збільшення робочої температури від  $T = 305...307$  К (при  $v = 0,5$  м/с) до  $T = 314...316$  К (при  $v = 1,0$  м/с) та

збільшення шляху припрацювання матеріалу від  $l = 3900 \dots 4200$  м до  $l = 6600 \dots 7100$  м. У матеріалі, виготовленому на основі епоксидної матриці і двокомпонентного бідисперсного наповнювача СШП (рис. 1, б-в) спостерігали динаміку погіршення трибологічних властивостей при збільшенні швидкості ковзання. При дослідженні матеріалу СШП з двокомпонентним бідисперсним наповнювачем (рис. 1, в, г) встановили тенденцію зміни властивостей КМ залежно від швидкості ковзання. Доведено (табл. 1), що за підвищення швидкості ковзання від  $v = 0,5$  м/с до  $v = 1,0$  м/с коефіцієнт тертя підвищується від  $f = 0,070 \dots 0,075$  до  $f = 0,090 \dots 0,095$ , момент тертя від  $M = 0,9 \dots 1,0$  Н $\times$ м до  $M = 1,0 \dots 1,2$  Н $\times$ м, а інтенсивність зносу зменшується від  $I_m = 0,70 \dots 0,90$  мг/км до  $I_m = 0,30 \dots 0,40$  мг/км, шлях припрацювання від  $l = 4000 \dots 4300$  м до  $l = 3200 \dots 4000$  м. Робоча температура за збільшення швидкості ковзання практично не змінюється і становить  $T = 303 \dots 305$  К. Слід зазначити, що важливий вплив на показники трибологічних властивостей має природа агресивного середовища, у якому досліджували випробувальні зразки.

Додатково для підтвердження отриманих результатів випробувань трибологічних властивостей досліджували поверхню тертя матеріалів за допомогою методу оптичної мікроскопії при збільшенні зображень у  $\times 100$  та  $\times 200$  разів. При аналізі світлин зламу матеріалу СШП з двокомпонентним бідисперсним наповнювачем спостерігали, що лінії тертя не мають особливих заглиблень порівняно з матрицею. Лінії тертя розташовані хаотично, що підтверджує припущення про присутність окисної плівки при терті. Водночас поверхня тертя матриці, дослідженої за швидкості ковзання  $v = 0,5$  м/с, має помітні нерівномірні лінії тертя, подряпини та задири, що дозволяє констатувати про підвищений коефіцієнт тертя та знос матеріалу (рис. 2, а, б). Також помітні задири, що підтверджує результати дослідження трибологічних властивостей даного матеріалу.

На наступному етапі досліджували трибологічні властивості у агресивному середовищі морської води матеріалу СШПП-БП із вмістом гранул термопластичного наповнювача ПА-6  $q = 30$  мас. ч. та  $q = 60$  мас. ч. відповідно.

Встановлено, що матеріал СШПП-БП характеризується поліпшеними показниками робочого коефіцієнту і моменту тертя, порівняно із епоксидною матрицею та матеріалу СШП. Це підтверджує припущення про присутність третього тіла, яке утворюється за рахунок епоксидної матриці і гранул поліаміду, часток наповнювачів СШ та перліту. При цьому спостерігали підвищену інтенсивність зносу матеріалу СШПП-БП при швидкості  $v = 0,5$  м/с ( $I_m = 0,90 \dots 1,00$  мг/км). Водночас, слід зазначити, що при збільшенні вмісту поліаміду у матеріалі СШПП-БП за швидкості ковзання  $v = 1,0$  м/с зростає шлях припрацювання матеріалу від  $l = 1700 \dots 2000$  м до  $l = 2300 \dots 2500$  м. Однак, відсутність антифрикційних властивостей дисперсних наповнювачів і підвищена адсорбційна взаємодія агресивного середовища та КМ за умови збільшення кількості гранул поліаміду приводить до зниження температури від  $T = 308 \dots 311$  К до  $T = 301 \dots 306$  К, зменшення робочого коефіцієнту тертя від  $f = 0,13 \dots 0,23$  до  $f = 0,04 \dots 0,10$ . Отже, доведено, що найкращими трибологічними властивостями відзначається СШПП-БП за вмісту гранул поліаміду ПА-6  $q = 60$  мас. ч. при швидкості ковзання  $v = 1,0$  м/с.

Додатково встановлено, що усі світлини поверхонь тертя мають яскраво виражені доріжки тертя із заглибленнями. Доріжки тертя направлені паралельно дії контртіла. При цьому помітні задири та подряпини на поверхні матеріалів. Дані заглиблення підтверджують припущення про те, що частки наповнювача СШ та перліту після часткового руйнування поверхневого шару КМ діють як абразив, що призводить до зниження антифрикційних трибологічних властивостей матеріалів.

**Висновки.** На основі отриманих результатів проведених досліджень трибологічних властивостей епоксидних композитів можна констатувати наступне.

1. Доведено, що умови та склад полімерного матеріалу суттєво впливають на їх трибологічні властивості. Встановлено, що за підвищення швидкості ковзання від  $v = 0,5$  м/с до  $v = 1,0$  м/с коефіцієнт тертя матеріалу на основі епоксидної смоли, наповнювачів сірий шлім і перліт підвищується від  $f = 0,070 \dots 0,075$  до  $f = 0,090 \dots 0,095$ , момент тертя від  $M = 0,9 \dots 1,0$  Н×м до  $M = 1,0 \dots 1,2$  Н×м, а інтенсивність зносу зменшується від  $I_m = 0,70 \dots 0,90$  мг/км до  $I_m = 0,30 \dots 0,40$  мг/км, шлях припрацювання від  $l = 4000 \dots 4300$  м до  $l = 3200 \dots 4000$  м, робоча становить  $T = 303 \dots 305$  К.

2. Експериментально встановлено, що поліпшеними трибологічними властивостями відзначається матеріал СШПП-БП за вмісту гранул поліаміду ПА-6  $q = 60$  мас. ч. при швидкості ковзання  $v = 1,0$  м/с: робочий коефіцієнт тертя –  $f = 0,050 \dots 0,055$ , робочий момент тертя –  $M = 0,8 \dots 0,9$  Н×м, інтенсивність зносу –  $I_m = 0,30 \dots 0,40$  мг/км, шлях припрацювання –  $l = 2300 \dots 2500$  м, робоча температура –  $T = 304 \dots 306$  К. Даний матеріал доцільно використовувати, як підшипники ковзання та ущільнення технологічного устаткування водного та нафтогазового транспорту.

Методом оптичної мікроскопії підтверджено отримані результати трибологічних досліджень і доведено їх достовірність.