

Ліхацький Р.Ф., аспірант

(Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, м. Київ, Україна)

## ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ КОНТАКТНИХ ПАР ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

На сьогодні більшість видів електрорухомого складу громадського транспорту використовують контактні накладки трьох типів: вуглецеві, металокерамічні та мідні/мідно-графітові. Однак за характеристиками передачі електроенергії та зносостійкістю при економічній доцільності їх виробництва відомі типи контактних пар не задовольняють потреби транспортної галузі. До головних чинників, які призводять до швидкого зношування контактних пар можна віднести: матеріал елементів, що контактують; параметри струму, що передається контактною парою; швидкість переміщення/ковзання один відносно одного; погодні умови та механічний вплив.

Контактні пари мають забезпечувати передачу енергії з мінімальними її втратами, що при значній силі струму призводить до в кілька разів швидшого руйнування поверхні контактів ніж за звичайних умов. В Україні громадський електротранспорт працює за номінальною величиною струму в мережі близько 250-270 А та напругою 500-600 В [1]. Відповідно густина струму, враховуючи доволі незначну площу контакту, призводитиме до швидкого зношування поверхні контактних пар.

Вплив сили струму на зношування матеріалу безпосередньо пов'язаний з швидкістю ковзання контактної вставки відносно мережі живлення. Висока швидкість та нерівності поверхні легко викликають вібрацію системи, що спричинює порушення контакту. Регулярне порушення контакту руйнуватиме поверхню контактів внаслідок дугової абляції. Автором [2] було досягнуто висновку, що дугова ерозія є домінуючим механізмом зношування за помірних навантажень. Ерозія завжди супроводжується адгезійним зношуванням і абляцією. Проте за високих навантажень в електричних процесах ковзання першочерговий вплив має адгезійне та абразивне зношування. Для зменшення частоти порушення контакту внаслідок вібрації контактні поверхні повинні мати мінімальну силу тертя між собою, а контактна мережа – оптимальний натяг лінії [3].

Вплив вологості і погодних умов в цілому на зношування пластини ковзання проявляється передусім в утворенні поверхневих оксидів та абразивних частинок. З поступовим збільшенням кількості молекул водяної пари в навколишньому середовищі поверхнева оксидна плівка ставала більш повною, таким чином змащуючи та захищаючи поверхню, зменшуючи адгезію між парами тертя та зменшуючи утворення дрібних абразивних частинок на поверхні. Вологість впливає на формування абразивних частинок на поверхні ковзання. При цьому у випадку мідно-графітової накладки поверхневі абразивні частинки були переважно частинками міді. За умов низької вологості поверхнева вільна енергія матеріалу є високою через відсутність водяної пари в атмосфері. Внаслідок налипання мідних частинок, розподілених по поверхні ковзання під високими температурами в процесі зношування, утворювалась велика кількість дрібних абразивних часток, що сильно збільшувало зношування контактної пари. Коли ж відносна вологість була високою, водяна пара покривала поверхню пластини для ковзання, тим самим зменшуючи вільну енергію поверхні та утворюючи чисті абразивні частинки. У процесі зносу абразивні частинки різних розмірів можуть взаємодіяти, а великі частинки забезпечують підтримку. Дрібні частинки відіграють роль у ремонті поверхні, тим самим зменшуючи поверхнєве зношування [4]. У випадку ожеледі чи намерзанні мокрого снігу на поверхні контактів утворюється електрична дуга, що призводить до ерозійного пошкодження і зношування контактної пари в цілому [5].

Очевидно, що найбільш впливовим на параметри надійності роботи контактної пари залишається матеріал елементів, що контактують. Такі матеріали, в першу чергу, повинні мати хорошу електропровідність і високу стійкість до зношування. Перспективними в плані зазначених характеристик є саме сплави міді та композити на їх основі, так як вуглецеві вставки мають низьку стійкість до зношування.

Пари мідно-графітових контактів мають хороші характеристики ковзання при електричному контакті, такими як самозмазування, висока провідність, механічна міцність та ін. Саме вони найбільш широко використовуються на даний час [6]. Прикладом покращення властивостей таких матеріалів є контактні елементи на бронзовій основі Бр3Г струмоприймача електрорухомого складу з підвищеною зносостійкістю пари контактного дроту і струмоз'ємного елемента [5].

Існує практика використання спеціальних зносостійких самозмащувальних покриттів, проте їх застосування зосереджене на військовій та аерокосмічних сферах. Так, наприклад, покриття на основі молібдену може значно підвищити термін служби контактів, а покриття на основі срібла – підвищити безпеку та стабільність енергосистеми в цілому. Також практикують легування міді зносостійкими електропровідними частинками типу  $Ti_4O_7$  [7].

Авторами [8] досліджено можливість отримання композиту мідь-ванадій. Частинки ванадію в ньому є нерозчинними, їх розмір та розподіл по об'єму міді призводить до покращення механічних характеристик при незначному зниженні електропровідності. Такий композит міг би бути кращим за аналоги системи мідь-графіт, так як передача струму відбувалась з меншими втратами, а частинки ванадію виступали б в якості зміцнюючого компонента при цьому не перешкоджаючи самозмащуванню міддю в процесі роботи. Одержання та експлуатація таких композитних мідних сплавів потребують більш детального вивчення.

#### Список використаних джерел:

1. Далека, В. Х., Хворост, М. В., Скуріхін, В. І., & Скуріхін, Д. І. (2018). *Рухомий склад міського електричного транспорту. Механічна частина*. Харків: ХНУМГ.
2. Yang, H. J., Chen, G. X., Zhang, S. D., & Zhang, W. H. (2012). Effect of the vibration on friction and wear behavior between the carbon strip and copper contact wire pair. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 226(8), 722-728. <https://doi.org/10.1177/1350650112444680>
3. Brenna, M., Foadelli, F., & Zaninelli, D. (2018). *Electrical Railway Transportation Systems*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
4. Bing, Y., Youxin, R., Lei, Z., & Shoune, X. (2023). *Study on friction and wear properties of copperimpregnated carbon slide plate under different humidity conditions*. Preprints. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2433066/v1>
5. Баб'як, М. О. (2018). Ресурсозберігаюча технологія експлуатації накладок струмоприймачів з урахуванням їх взаємодії з контактним дротом. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*, 2(243), 32-37.
6. Wenhan, X., Guangning, W., Zefeng, Y., Pengpeng, S., Hong, W., Haozi, Z. ... Chuanjun, T. (2021). Study on the erosion characteristics of copper-carbon electrode pairs by DC air arc. *High Voltage*, 6(4), 674-683. <https://doi.org/10.1049/hve2.12124>
7. Li, S., Yang, X., Kang, Y., Li, Z., & Li, H. (2022). Progress on Current-Carry Friction and Wear: An Overview from Measurements to Mechanism. *Coatings*, 12(9), 1345. <https://doi.org/10.3390/coatings12091345>
8. Ліхацький, Р. Ф., & Ворон, М. М. (Ред.). (2020). *Одержання мідного литого композиту системи Си-V в умовах електронно-променевої ливарної технології*. Міжнародна НПК Литво. Металургія. Запоріжжя, 80-82.