

## МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ КОНТАКТНИХ НАКОНЕЧНИКІВ НА ТЕРТЯ ТА ЗНОС

---

*Розглянуто вимоги до контактних наконечників (КН), що застосовуються при зварюванні плавким електродом, умови їх роботи та шляхи підвищення експлуатаційних характеристик КН. Обґрунтована необхідність проведення стендових випробувань КН з урахуванням недоліків існуючих способів. Запропоновані установка та методика стендових випробувань з відповідними критеріями оцінки якості матеріалу КН.*

*The requirements to the contact tips (CT) that used in consumable-electrode arc welding, operation conditions and ways to improve the performance of CT are considered. The necessity for bench tests of CT is substantiated with consideration of drawbacks of existing methods. The equipment and method of bench test with the relevant criteria for assessing the quality of CT material is proposed.*

---

Близько 40 % всіх з'єднань, виконаних електродуговим зварюванням плавленням, доводиться на системи з використанням різноманітних модулів подачі зварювальних дротів. Невід'ємною складовою частиною таких модулів є **контактний наконечник (КН)**, що здійснює підведення й передачу зварювального струму електродному дроту, що рухається, та фіксує його положення щодо зварюваного (наплавляемого) виробу. КН є витратною деталлю з досить обмеженим експлуатаційним ресурсом, тому що зношується в умовах високої температури та передачі струму високої густини. КН є відповідальним елементом конструкції, який повинен забезпечувати:

- надійний електричний контакт з стабільними динамічними значеннями струму і падіння напруження;
- постійний перехідний контактний опір з мінімальним споживанням енергії;
- необхідність точного позиціонування дроту в тілі токопідвода.

У міру зношування КН знижується стабільність процесу зварювання [1, 2], збільшується розбрикування, погіршується якість шва в цілому, збільшуються витрати на зачищення шва та виправлення інших дефектів. Ефективними методами вирішення проблем, виникаючих при експлуатації КН, є розробка нових конструктивних рішень наконечників та застосування для їх створення нових матеріалів із заданими властивостями [3].

Виробничі випробування КН вирізняються дешевиною, простотою реалізації, але тривалість досліджень, низька достовірність результатів, вплив людського фактору, та відсутність умов для визначення параметрів, відмінних від простого усвідомлення, роблять їх малоефективними при дослідженні конструкційних матеріалів для КН. Лабораторні дослідження КН, максимально наближені до натурних умов, мають ряд недоліків. В першу чергу це коштовність досліджень, пов'язана з витратами супутніх матеріалів (захисний газ, електродний дріт, метал) та необхідністю виготовлення для кожного досліджуваного матеріалу робочої моделі КН. По друге, це утруднення при дослідженні деяких електро-фрикційних характеристик КН, наприклад, коефіцієнту тертя, температури тертя, електрофрикційної теплостійкості, дугостійкості, величини та інтенсивності прихопок електродного металу до поверхні КН. По третє, складність визначення, регулювання та підтримки сталості сили притискання електродного дроту до поверхні КН. До того ж в реальних умовах зварювання слід очкувати значні похибки від таких супутніх явищ як нестабільності дії теплової енергії дуги, процесів, що відбуваються під час горіння дуги та переносу електродного металу, поведінки дроту під час проходження подаючим трактом.

Наявність деяких зазначених вище обставин може бути не важливо при порівнянні різноманітних конструкційних оформлень КН, але вони не дозволяють об'єктивно порівнювати різноманітні експлуатаційні характеристики матеріалів для КН. Значну кількість цих проблем можна вирішити за рахунок стендових досліджень, що імітують реальні умови зносу матеріалу КН. Виникає питання про необхідність розроблення метода стендових досліджень з відповідними критеріями оцінки якості матеріалу КН.

При дослідженні найбільш характерних видів ковзаючих контактів електричних машин з розімкнутим силовим контуром, таких як струмознімальні пристрої м'яського та залізничного транспорту, проведення лабораторних чи стендових іспитів є досить ускладнено [4]. Це пов'язано з труднощами по створенню умов контактування, що імітують натурні, адже натурні іспити є єдиним об'єктивним критерієм оцінки експлуатаційних властивостей [5].

За різноманітними ознаками електричний контакт, що відбувається між дротом та КН, найбільш наближений до того, що має місце на транспорті між пантографом та контактним дротом: контакт рухливий, лінійно ковзаючий, сильноточний (з розрахунку  $A/mm^2$ ), один з елементів контактування не є жорстким, тертя відбувається по свіжому сліду. Однак є і суттєві відмінності:

- електроенергія передається тільки через один контактний пристрій;
- усереднено струм розподіляється не рівномірно по струмознімальній поверхні, а переважно стягується до об'єму, максимально наближеного до краю (торця) наконечника;

- визначальним експлуатаційним фактором є знос тіла наконечника, а не дроту в контактній парі; в місцях максимальної струмопередачі матеріал наконечника нагрівається до температури  $800^{\circ}\text{C}$ , що в 3-4 рази більше у порівнянні з пантографом;
- характер теплового навантаження відбувається за багатоциклічною схемою з тепловими «ударами» змінної потужності (до  $20^{\circ}\text{C}/\text{сек}$  в окремих макрооб'ємах) та тривалості;
- щільність струму у дроті після контакту може бути на порядок вищою (до  $200 \text{ А}/\text{мм}^2$ ), чим у мережі електротранспорту;
- сила взаємного притискання контактуючих поверхонь не регулюється, має не визначену величину, залежну від таких чинників як жорсткість дроту, його початкової криволінійності та динамічних обертових рухів, конструктивних особливостей механізму подачі дроту та зварювального пальника;
- поверхня дроту може бути як гладкою, так і з макроступами, конфігурація яких залежить від конструктивних особливостей подаючих механізмів;
- КН експлуатуються у низьковольтних зварювальних апаратах, переважно захищених від дії шкідливих факторів навколишнього середовища.

Враховуючі ці обставини вважаємо неможливим використовувати наведені в роботах [6, 7] методи випробування ковзаючих контактів елементів електротранспорту на тертя та знос стосовно КН. До того ж устаткування та особливості технології зварювання плавким електродом вигідно відрізняються тим, що умови проведення лабораторних досліджень мало чим відрізняються від натурних умов зварювання.

Відомі методики випробувань контактних наконечників, що імітують процеси, які відбуваються при електродуговому зварюванні мають, наступні недоліки: віддаленість від процесів, що відбуваються при зварюванні, наявність лише механічного зносу при проштовхуванні дроту крізь контактний наконечник без дією струму [8] (рис. 1);

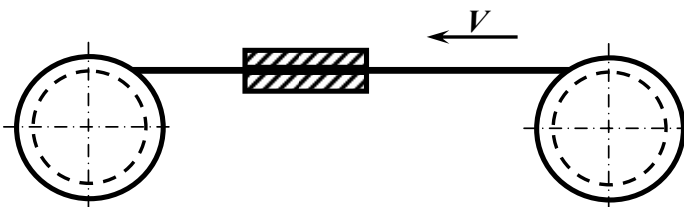


Рис. 1 Схема механічного зносу КН

для КН важливою умовою є порівнянність результатів, отриманих на дослідній установці з натурними іспитами. Тому в дослідній установці повинні створюватись та регулюватись умови, що впливають на зношення КН при їх експлуатації у зварювальних апаратах. Схожість діючих факторів та можливість їх регулювання у межах, що відповідають натурним, забезпечує створений на зварювальному факультеті НТУУ «КПІ» стенд ЗМКН (знос матеріалу контактного наконечника).

Стенд дозволяє проводити випробування досліджуваних матеріалів, що представлені у вигляді промислових КН різних типорозмірів, експериментальних КН чи зразків різної форми, що за розмірами наближені до промислових КН, при цьому є можливість моделювати характерні для експлуатації КН температурні режими. Стенд складається з наступних частин (рис. 3): тензобалки для заміру сил тертя 1, гнучкої мідної шини для підведення напруги до зразків 2, утримувача зразка з нагрівальним елементом 3, вібродатчика 4, досліджуваного зразка 5, термопари 6, робочого диску 7, що насаджений на вал двигуна постійного струму, мідно-графітових щіток 8, пристрою з очищування 9, мідного потенціального кільця 10, ємкості для мастила 11, передаточного пристрою 12, тахогенератора 13.

Електрична схема стенду ЗМКН складається зі схеми живлення ковзаючого контакту, схеми живлення двигуна, схеми керування тиристором. Силова схема складається з джерела живлення ДЖ, транзистора VT, шунта Ш, стабілізуючого опору  $R_{ст}$  та баластного реостата  $R_6$ .

Стенд ЗМКН дозволяє проводити випробування досліджуваних матеріалів в діапазоні швидкостей ковзання  $V_k=20-150 \text{ мм}/\text{с}$ , при навантаженнях до 20 Н, величинах струму до 400 А та напрузі до 40 В, температурі до  $700^{\circ}\text{C}$ . При цьому є можливість відтворення у комбінованому вигляді різних режимів випробувань:

- з різними температурами підігріву та без підігріву;
- змінювати контактні навантаження;
- з різними струмами та, відповідно, швидкостями ковзання;
- з товщиною робочого диску, що відповідає діаметрам найбільш застосованих зварювальних дротів;

невелика кількість параметрів, що аналізуються при проштовхуванні дроту крізь контактний наконечник під дією струму (без запалювання дуги) [9, 10] (рис. 2), відсутність моделювання типового для зварювання у захисних газах режиму коротких замикань. Останнє, за літературними даними [11], є важливим чинником, що значно збільшує знос КН. Загальним суттєвим недоліком наведених схем є потреба у великій кількості дроту, який, переважно, неможна використовувати повторно.

При розробці стенду для дослідження електро-фрикційних властивостей матеріалів

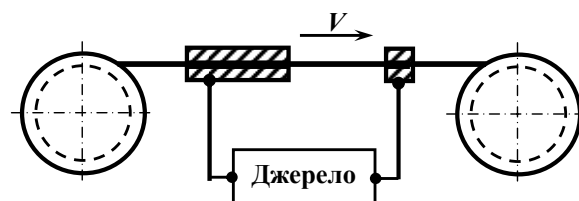


Рис. 2 Схема електромеханічного зносу КН



- динамічний коефіцієнт тертя  $\mu_D = \frac{F_{cp}}{P_n}$ ;
- потужність та інтенсивність вібросигналу;
- частота віброудару  $\nu_{вiб} = \frac{n_{вiб}}{T}$ ,  $n_{вiб}$  – сумарна кількість віброударів за проміжок часу  $T$ .

Стенд дозволяє проводити дослідження за трюма схемами: 1 – дослідження фрикційних властивостей КН без проходження струму; 2 – дослідження на електрофрикційну теплостійкість, коли вплив електродугових та електрокорозійних ефектів на тертя та зношування мінімізовані; 3 – дослідження поведінки матеріалів КН в умовах, що найбільш наближені до натурних.

#### Висновки

1. Єдині методики та критерії оцінки якості струмозмінальних матеріалів відсутні.
2. Розробка нових конструктивних рішень контактних наконечників та застосування для їх створення нових матеріалів із заданими властивостями є неможливими без залучення ефективного метода стендових досліджень з відповідними критеріями оцінки якості матеріалу КН.
3. Стенд з дослідження матеріалу КН на знос повинен моделювати, серед іншого, такі експлуатаційні фактори, як різні температурні режими та наявність чи відсутність коротких замикань різної скважності.

#### Список літератури

1. Чубуков А. А. Влияние износа токоподводящего наконечника на технологические параметры процесса сварки / А. А. Чубуков // Сварочное производство. – 1980. – №1. – С.26–27.
2. Охай Ю. И. О стабильности процесса сварки / Ю. И. Охай // Тезиси доповідей третьої Всеукраїнської міжгалузевої науково-технічної конференції “Зварювання та споріднені процеси і технології” студентів, аспірантів та наукових співробітників / Київ: НТУУ «КПІ», 2010 р. – С. 80-82.
3. Скороход В. В. Новітні технології порошкової металургії у зварювальному виробництві / В. В. Скороход, Р. А. Морозова, С. К. Фомічоа, Ю. І. Охай і др. // НАУКА ТА ІНОВАЦІЇ. – 2005. Т1. №6. – С. 80-83.
4. Чичинадзе А. В. Материалы в триботехнике нестационарных процессов / А. В. Чичинадзе, Р. М. Матвеевский, Э. Д. Браун. – М.: Наука, 1986. – 247 с.
5. Купцов Ю.Е. Беседы о токосъеме, его надежности, экономичности и о путях совершенствования / Купцов Ю.Е. – М.: Модерн-А, 2001. – 256 с.
6. Чичинадзе А. В., Щерба Ю. Н. Исследование электрофрикционных характеристик материалов для скоростного электрического контакта / А. В. Чичинадзе, Ю. Н. Щерба. – В кн.: механика и физика контактного взаимодействия. Калинин: КГУ, 1979, – 97 с.
7. Купцов Ю.Е. Увеличение срока службы контактного провода / Ю.Е. Купцов. – М.: Транспорт, 1972. – 160 с.
8. Чвертко А. И. Исследование износостойкости и выбор материала деталей скользящих токоподводов автоматов и полуавтоматов для дуговой сварки / А. И. Чвертко // Автоматическая сварка. – 1975. – №1. – С.28-31.
9. Дегтярёв В. Г. Улучшение условий работы контактной пары электродная проволока – токоподводящий наконечник / В. Г. Дегтярёв, М. П. Новиков, Н. М. Воропай // Автоматическая сварка. – 1991. – №4. – С.48-52.
10. Чубуков А. А. Сопротивление в контакте наконечник — сварочная проволока при сварке в углекислом газе / А. А. Чубуков // Сварочное производство. – 1980. – №12. – С.31–32.
11. Лебедев В. А. Вопросы динамики системы подачи электродной проволоки / В. А. Лебедев // Сварочное производство. – 2008. – №5. – С.10–17.