

УДК 631.436.038

## ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ СПРАЦЮВАННЯ ТА РЕСУРСУ БРОНЗОВИХ ВТУЛОК ДВИГУНА ВІДНОВЛЕНИХ ЕЛЕКТРОІСКРОВОЮ НАПЛАВКОЮ

А.С. Антюк, здобувач гр. АТ-24Мз,

С.І. Маркович, доц., канд. техн. наук,

С.О. Магопець, доц., канд. техн. наук.

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

**Постановка проблеми.** Відновлення деталей тракторів і автомобілів з малими зносами, які становлять понад 90%, до нашого часу представляє великі труднощі. [1,2] Аналіз використовуваних на ремонтних підприємствах методів відновлення бронзових деталей показує, що тільки електроіскрова наплавка (ЕІН) дозволяє відновлювати деталі бронзових втулок електродами з мідних сплавів, що є необхідною та достатньою умовою для збереження працездатності відновлюваних поверхонь тертя ковзання [3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Типові деталі з них – товстостінні та тонкостінні втулки опор розподільних валів та верхніх головок шатунів вітчизняних двигунів (ЯМЗ, ЗМЗ, МТЗ, СМД, КАМАЗ). Матеріалом цих втулок є сплав олов'яно-цинко-свинцевої бронзи марки БрОЦС 5-5-5. У двигунах ЯМЗ бронзові сплави застосовуються також у втулках масляного насоса та його приводу, картері зчеплення, коромисел і штовхачів клапанів, муфти регулятора швидкості паливного насоса. При встановленому режимі тертя ковзання ці втулки працюють в умовах гідродинамічного мащення, тобто між поверхнями, що труться, утворюється стійкий масляний клин, який запобігає тертю металевих поверхонь один про одного. Однак на практиці, домогтися режиму постійного рідинного тертя неможливо. При запуску холодного двигуна, при розгонах і гальмуванні, а також при роботі на знижених холостих оборотах має місце граничний режим мастила, коли гідравлічний шар мастила вичавлюється із зони сполучення. Зношування елементів пари тертя при цьому має втомний характер [3,4].

Перспективним способом відновлення деталей з малими зносами є спосіб електроіскрового наплавлення (ЕІН), при котрому виникають складнощі з забезпеченням необхідної товщини покриття [4,5].

**Мета й завдання дослідження.** Метою даної роботи є розробка наукових та технічних основ ефективного відновлення підшипників ковзання з бронз способом електроіскрового наплавлення, що забезпечує підвищення їх ресурсу в порівнянні з існуючим.

Об'єкт дослідження: процес відновлення підшипників ковзання з бронз з застосуванням ЕІН.

Предмет дослідження: залежності властивостей наплавлених шарів ЕІН з зносостійкістю деталей з мідних сплавів.

Задачі дослідження:

1. Розробити узагальнення результатів експериментальних досліджень щодо вивчення закономірностей ерозії електродів та формування нанесеного шару при зміцненні, легуванні та наплавці мідних сплавів.

2. Розробити методіку формування багатошарових покриттів на мідних сплавах з урахуванням припуску на обробку.

3. Виконати порівняльні триботехнічні випробування для прогнозу інтенсивності зношування, несучої здатності та задиристості пар тертя, утворених ЕІН.

**Виклад основного матеріалу. Результати дослідження лінійних експлуатаційних зносів втулок розподільних валів та напрацювань двигунів ЯМЗ – 236/238 та ЯМЗ – 240 в умовах рядової експлуатації.** Аналіз ремонтного фонду показав, що з відновлення втулок по зовнішній поверхні їх потрібно наростити по діаметру трохи більше, ніж 120 мкм, що дозволило б запровадити в полі допуску. Аналіз даних мікрометражних вимірювань зношених бронзових втулок показав, що для відновлення їх по зовнішній поверхні необхідно наростити їх діаметром не більше, ніж на 120 мкм, а по внутрішній поверхні - до 160 мкм. З урахуванням припуску на обробку необхідна товщина покриття становить до 400-500 мкм по діаметру.

При ЕІН між анодом і катодом має місце рухливий контакт, досить складної природи, без чого неможливий фізичний процес, що розглядається.

Процес ЕІН металевих поверхонь заснований на використанні дії імпульсного електричного розряду, що проходить між електродами в газовому середовищі. Сутність його полягає в тому, що при іскровий розряд у газовому середовищі відбувається переважно руйнування матеріалу електрода (анода) та перенесення продуктів ерозії на деталь (катод). ЕІН буде відбуватися тим успішніше, чим більша кількість матеріалу анода зруйнується і закріпиться на поверхні катода в одиницю часу. Одиначний акт короткого замикання анода і катода може бути представлений як замикання шорсткостей за їх вершинами та бічними поверхнями. Після торкання вершинами шорсткості електрода вершин шорсткості деталі, через час  $t_0 + \Delta t$ , де  $\Delta t$  - час затримки початку розряду, відбувається імпульсний розряд батареї накопичувальних конденсаторів і виділення енергії на електроди та в контактну зону. Процес короткого замикання супроводжується плавленням містків зв'язку електричними розрядами в прилеглих зонах і перенесенням матеріалу електрода на поверхню деталі.

Досліджено вплив струму короткого замикання  $J_{кз}$  на ерозію електродів. Дотримувалися такі умови експерименту : матеріали електродів IV - VI та VIII груп: W - Mo - Cu - Ag - Cr - Ta - Fe - Nb - V - Ti - Zr - Ni - Zn ;  $J_{кз}$  : 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 А;  $U_{кк}$  - 16; C - 300 мкФ;  $t_{об}$  - 3 хв. Встановлено, що зі зростанням струму короткого замикання ерозія анода монотонно змінюється, проходячи у своїй 5 етапів - від лінійного, потім прискореного наростання, потім уповільнення, гальмування і, нарешті, падіння її. Найбільш чітко описані етапи виявляються на ерозії Zn і Ni. З зростанням узагальненого критерію ерозійної спроможності матеріалів всі аналізовані метали (електроди) розташовуються у порядку: W - Mo - Cu - Ag - Cr - Ta - Fe - Nb - V - Ti - Zr - Ni - Zn. Показано, що ерозійна здатність електродів із Cu та Ag, в порівнянні з іншими розглянутими елементами - найнижча. Це є головною перешкодою для відновлення деталей із мідних сплавів. Аналіз виявлених закономірностей дозволив знайти шляхи підвищення ерозії електродів з Cu та мідних сплавів.

Експериментами встановлено, що жоден електрод з міді та бронз не дозволяє отримати покриття завтовшки більше 200 мкм. Для збільшення товщини шару, що наноситься необхідно відмовитися від одношарових покриттів і формувати багатошарові покриття: до 4-х шарів як по зовнішній поверхні втулок, так по внутрішній. При ЕІН втрати на розбризування, зокрема, значно менше при обробці внутрішніх поверхонь (замкнуті простори), ніж при ЕІН зовнішніх поверхонь). Максимальна товщина багатошарового покриття в обох випадках становить 400 – 500 мкм по діаметру.

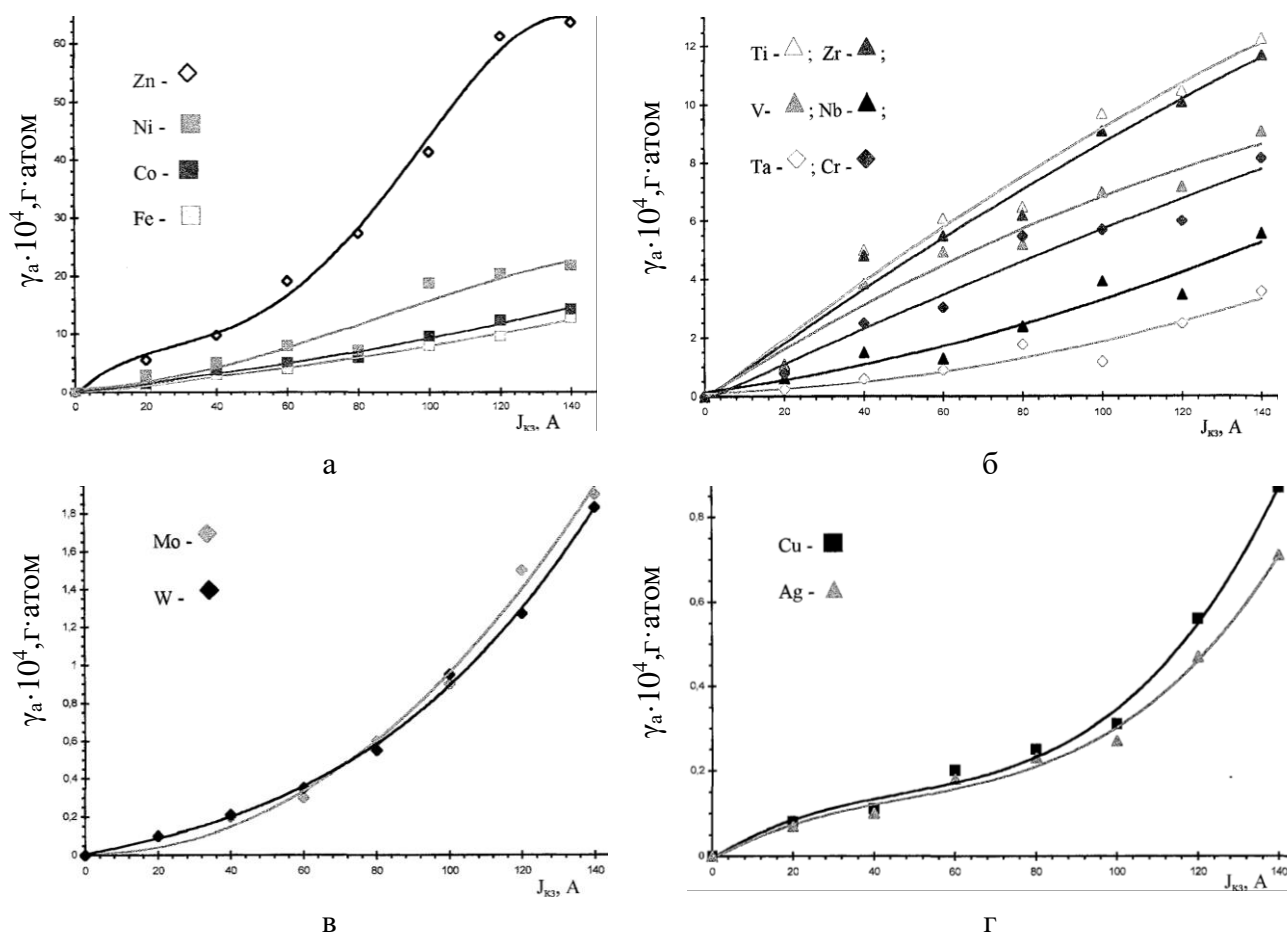


Рисунок 1 – Залежність ерозії анода  $\gamma_a$  від сили струму короткого замикання  $J_{кз}$

Як електроди для формування покриттів підібрані: мідь, нікель, бронза (БрАЖ 9-4 і БрОФЮ-1).

При нарощуванні зовнішніх поверхонь було виявлено, що електроди з міді дозволяють одержати одношарові покриття до 200 мкм діаметр. Подальше збільшення товщини покриття забезпечується використанням електродів з нікелю як підшар. Нікель розчиняється в матеріалі основи і таким чином незначно впливає на товщину покриття, але забезпечує ефективне нанесення наступних шарів з міді та бронз (табл. 1). При нарощуванні внутрішньої поверхні втулок найбільш ефективними виявилися електроди з бронз типу БРАЖ, які при одношаровому покритті забезпечують товщину покриття до 100 мкм. У двошаровому покритті нікель як підшар для електрода БрАЖ9-4 забезпечує товщину покриття до 200 мкм. А для подальшого збільшення товщини покриття знову як підшар ефективним виявляється нікель.

Триботехнічні випробування та спостереження за базовими втулками в умовах експлуатації, показали, що середні ресурси відновлених втулок вищі за базові в 1,23 - 1,27 рази. При цьому виявлено, що при попаданні на капітальний ремонт двигуна, потреба у відновленні або заміні у базових втулок у 5 разів більша, ніж у експериментальних.

Таблиця 1. Формування шарів покриття в залежності від товщини

Вид поверхні	Товщина покриття, що формується	Матеріал покриття та номер шару
Зовнішня	до 200 мкм	Мідь
	понад 200 мкм до 300 мкм	1.Нікель+2.Мідь
	понад 300 мкм до 400 мкм	1.Нікель + 2.БРАЖ9-4 + 3.Нікель +4.Мідь
	понад 400 мкм до 500 мкм	1.Нікель + 2.Мідь + 3.Нікель + 4.БРАЖ9-4
Внутрішня	до 100 мкм	БрОФЮ-1 або БРАЖ9-4
	до 200 мкм	1. Нікель + 2. БРАЖ9-4
	до 300 мкм	1.Нікель + 2.БРАЖ9-3. + 3.Нікель +4.БРАЖ9-4
	понад 300 мкм до 350 мкм	1.Нікель + 2.БРАЖ9-4 + 3.Нікель +4.БРАЖ9-4
	понад 350 мкм до 400 мкм	1.Нікель + 2. БРАЖ9-4 + 3.Нікель +4. БРАЖ9-4

Прогноз ресурсу відновлених втулок лише по даним експлуатаційних спостережень показав, що нижня довірча межа ресурсу відновлених втулок в умовах рядової експлуатації перебуває у згоді з результатами прогнозу за даними експериментальних спостережень та триботехнічних випробувань.

### Висновки

1. Для відновлення бронзових втулок по зовнішній поверхні необхідно наростити їх діаметром не більше, ніж на 120 мкм, а по внутрішній поверхні - до 160 мкм. З урахуванням припуску на обробку необхідна товщина покриття становить до 400-500 мкм по діаметру. Результати дефектації показали, що при попаданні на капітальний ремонт двигуна, відновленні та заміні на нові підлягають не менше 35% втулок.

2. Встановлено, 5-ти ступінчастий характер ерозії електродів зі зростанням струму короткого замикання ерозія анода від лінійного, потім прискороного наростання, потім уповільнення, гальмування і, нарешті, падіння її.

3. Ерозійна спроможність електродів: W -Mo - Cu - Ag - Cr - Ta - Fe - Nb - V - Ti - Zr - Ni - Zn. Показано, що ерозійна здатність електродів із Cu та Ag, в порівнянні з іншими розглянутими елементами – найнижча, що є перешкодою для відновлення деталей із мідних сплавів.

4. Експериментально встановлено, що для підвищення товщини шару, що наноситься на зношені деталі раціонально використовувати багатошарові покриття (до 4-х шарів) з міді, нікелю і бронзи. Виявлено, що при нарощуванні поверхонь в 2 - 4 шари в якості підшару раціонально вибирати метали або сплави електродів, які мають високу ерозійну здатність, не окислюються, не розбризкуються в процесі ЕІН і не дуже дефіцитні. Показано, що цими якостями володіє нікель. Використання нікелю в якості підшару дозволило створити, в сукупності з електродами з міді і бронз, екологічно чистий технологічний процес, забезпечивши при цьому товщину покриття до 500 мкм на діаметр.

5. Виявлено, що електроіскровим наплавленням можна отримувати суцільні покриття, що володіють малою пористістю. При одношарових покриттях вона становить 15 - 35%, а у багатошарових - різко знижується до 5 - 8%. З аналізу розподілів мікротвердості випливає, що зона термічного впливу перевищує товщину наплавленого шару не менше ніж у 3 рази.

6. Лабораторні дослідження показали, що всі відновлені (експериментальні) пари тертя мають більш високу триботехнічну працездатність, ніж базові.

7. Виявлено, що має місце зона оптимальної шорсткості поверхні елементів пари тертя  $0,1 < R_{ar} < 0,3$  мкм, де  $R_{ar}$  - параметр шорсткості твердішого елемента пари), в якій базові та

експериментальні пари мають мінімальну інтенсивність зношування. При виході з цієї зони інтенсивність зношування базових зразків різко збільшується порівняно з експериментальними.

8. Середні ресурси відновлених втулок вищі за базові в 1,23 - 1,27 рази. При цьому виявлено, що при попаданні на капітальний ремонт двигуна, потреба у відновленні або заміні у базових втулок у 5 разів більша, ніж у експериментальних.

#### Список літератури

1. Beer, S. Verbesserung der Anlaufperformance durch den Einsatz von Frontloading-Maßnahmen / S. Beer // Anlaufmanagement in der Automobilindustrie erfolgreich umsetzen : Ein Leitfaden für die Praxis / G. Schuh, W. Stolze, F. - [S. 1]: Kolbenschmidt Aluminium-Technologie AG; Springer, 2008. - Part of the VDI-Buch book series. – P. 43-52.
2. Надійність сільськогосподарської техніки: Підручник. Друге видання, перероблене і доповнене / М.І.Черновол, В.Ю.Черкун, В.В.Аулін та ін. / За ред. М.І.Черновола – Кіровоград: КОД, 2010. - 320 с.
3. Маркович С. І. Експлуатація та ремонт двигунів внутрішнього згоряння : навч. посіб. / С. І. Маркович, О. В. Бевз ; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2022. - 334 с.
4. Черновол М.И. Восстановление и упрочнение деталей сельскохозяйственных машин. Киев УМК ВО 1989. - 256 с.
5. Молодик М.В., Лангерт Б.А., Бредун А.К. Відновлення деталей машин. - К.: Урожай, 1985. - 156 с.