

УДК 621.979.073

В. О. МАКОВЕЙ, Ю. П. БОРОДІЙ

## ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ РІЖУЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ ШТАМПІВ ЕЛЕКТРОІСКРОВИМ ЛЕГУВАННЯМ

Розглянуті методики досліджень різних видів зношування (бічного, крайового) для вивчення впливу зміцнення ріжучих елементів штампів електроіскровим легуванням. Визначені оптимальні технологічні параметри процесу електроіскрового легування, зокрема, струму в імпульсі розряду. Встановлена глибина зміцненого шару, його мікротвердість та досліджена суцільність нанесеного покриття. Виконана перевірка отриманих результатів шляхом проведення натурних випробувань, за результатами яких зносостійкість ріжучих кромок підвищилася в 2–2,5 рази.

**Ключові слова:** електроіскрове легування, ріжучі кромки, зміцнення, зношування, зносостійкість, дискретне покриття.

**Вступ.** Підвищення стійкості розділових штампів є актуальним завданням в умовах сучасного автоматизованого масового виробництва. Експлуатаційна стійкість розділових штампів характеризується збереженням у часі об'ємної та поверхневої міцності матеріалу пуансонів і матриць. В даний час великий інтерес представляє розробка практичних рекомендацій щодо застосування зміцнюючих методів обробки інструментальних сталей типу У8А, У10А та інших для підвищення стійкості розділових штампів. Наявні роботи з дослідження стійкості розділових штампів, зміцнених електроіскровим легуванням (ЕІЛ), носять технологічний характер і відображають експериментальні результати по встановленню зв'язку між режимами ЕІЛ та стійкістю розділових штампів [1,2].

**Аналіз останніх досліджень і літератури.** Зношування ріжучих елементів розділових штампів оцінюється по зменшенню площі ріжучих кромок в діаметральному перерізі, тобто їх сумарним зношуванням, умовно цю площу поділяють на дві складові: торцеву і бокову. Загальним недоліком відомих способів реєстрування зношування робочих частин штампів [3–5] є їх порівняно велика трудомісткість, обумовлена необхідністю або періодичного зняття профілограм з ріжучих кромок пуансона і матриці в ході експлуатації штампів, або поетапної побудови зношеного профілю ріжучих кромок на основі замірів координат окремих точок. Експериментально встановлено наявність трьох послідовних стадій зношування робочих частин розділових штампів, взаємопов'язаних зі стадіями процесу пробивання-вирубання [5, 6]. Показано, що на цих стадіях зношуються торцеві, крайові (вершини ріжучих кромок) та бічні поверхні робочих частин штампів з утворенням аналогічних видів зношування – торцевого, крайового і бічного. При цьому встановлено, що основним видом зношування робочих частин розділових штампів є крайове зношування, яке головним чином і визначає величину завусення на деталях та стійкість ріжучих елементів.

Визначення окремих видів зношування робочих частин вирубно-пробивних штампів дозволяє після їх співставлення визначити основний вид зношування для конкретних умов і розробити технологічні умови,

що забезпечують підвищення стійкості штампів за допомогою електроіскрового легування.

**Ціль дослідження, постановка проблеми.** Метою даної роботи є розробка методики досліджень різних видів зношування для вивчення впливу зміцнення ріжучих елементів штампів електроіскровим легуванням, визначення оптимальних технологічних параметрів процесу ЕІЛ, оцінка суцільності нанесеного покриття та здійснення перевірки отриманих результатів шляхом проведення натурних випробувань.

Експериментальні дослідження виконувалися на машині тертя М-22М – лабораторному випробувальному устаткуванні для дослідження службових характеристик конструкційних матеріалів в умовах сухого і граничного тертя ковзання, змащення. Дослідження проводилися за схемами, приведеними на рис. 1. Методика випробувань на тертя та зношування на машині тертя серед іншого дозволяє змодельовати бокове зношування пуансонів розділових штампів (при випробуваннях за схемою вал-вкладень, рис. 1, а), а також крайове зношування ріжучих кромок (при випробуваннях за схемою вал-гостра кромка, рис. 1, б).

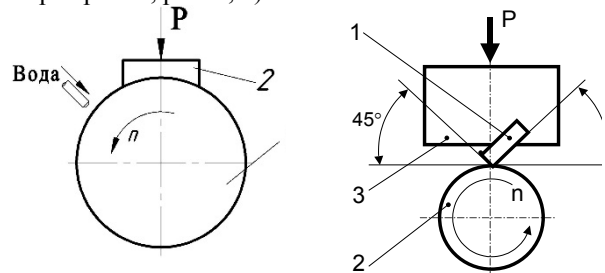


Рис. 1 – Схема випробувань на машині тертя М-22М:

- |   |   |
|---|---|
| а – при моделюванні бокового зношування за схемою вал-вкладень: | б – при моделюванні крайового зношування ріжучої кромки:    |
| 1 – зразок (вал),   | 1 – зразок (гостра кромка),                                 |
| 2 – контрзразок;  | 2 – контрзразок (вал), 3 – пристрій для встановлення зразка |

В результаті проведених досліджень на бокове зношування встановлене оптимальне значення одного з найважливіших параметрів ЕІЛ – струму в

імпульсі розряду. Побудовані графічні залежності таких параметрів від струму в імпульсі розряду ЕІЛ (рис. 2–4): мікротвердості HV зміцненого прошарку, товщини зміцненого прошарку, зносостійкості зміцненого прошарку [7].

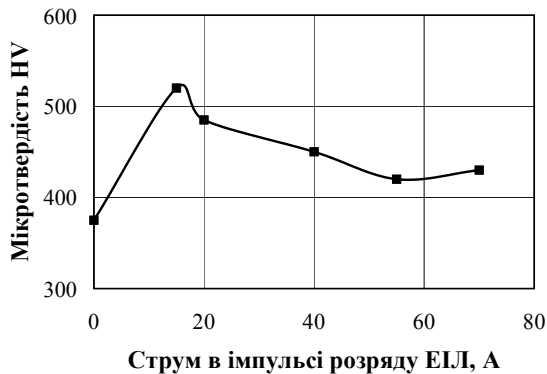


Рис.2 – Графічна залежність мікротвердості HV зміцненого прошарку від струму в імпульсі розряду ЕІЛ

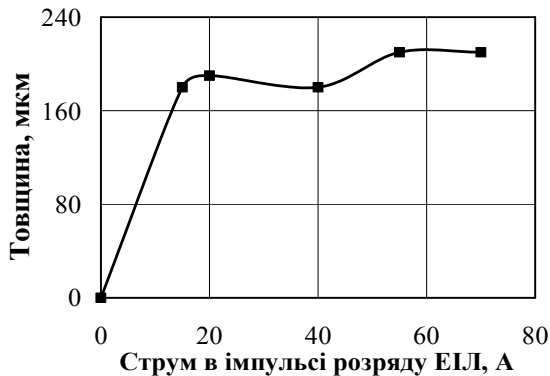


Рис.3 – Графічна залежність товщини зміцненого прошарку від струму в імпульсі розряду ЕІЛ.

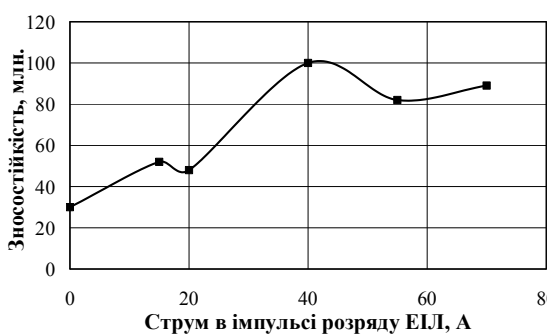


Рис.4 – Графічна залежність зносостійкості зміцненого прошарку від струму в імпульсі розряду ЕІЛ

В результаті досліджень на машині тертя М-22М була побудована графічна залежність швидкості зношування (мкм/год) від мікротвердості (рис. 5). Встановлене значне зменшення швидкості зношування (від 0,7 до 0,15 мкм/год) при підвищенні мікротвердості зміцненого прошарку з HV 3 ГПа до HV 8 ГПа (рис. 5) [8].

В результаті досліджень на машині тертя М-22М також була побудована графічна залежність швидкості зношування (мкм/год) від струму в імпульсі розряду ЕІЛ (рис. 6). Встановлене зменшення швидкості зношування (від 0,75 до 0,2 мкм/год) при зростанні струму в імпульсі розряду ЕІЛ до 30–40 А, з подальшою стабілізацією швидкості зношування при зростанні імпульсного струму до 60 А (рис. 6).

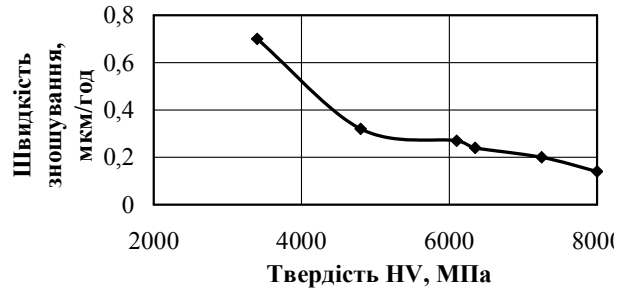


Рис.5 – Залежність швидкості зношування зміцненого шару від його мікротвердості

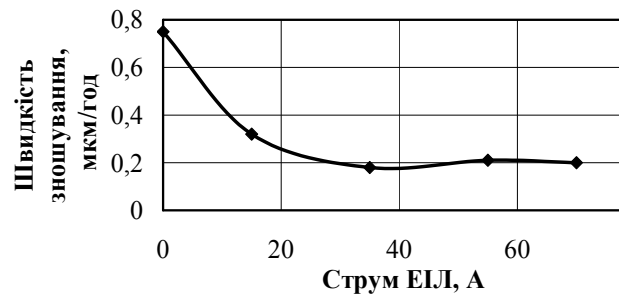


Рис.6 – Залежність швидкості зношування зміцненого шару від струму в імпульсі ЕІЛ.

В результаті досліджень по встановленню стійкості універсально-збірних штампів для вирубки-пробивки, проведених в роботі [9], встановлено, що твердість інструмента має величезний вплив на стійкість універсально-збірних штампів. Зі збільшенням твердості більше HRC 48-51 стійкість штампів різко зростає (в 4 та більше разів). Однак збільшення твердості дає відчутний ефект лише до певної межі. При підвищенні твердості ріжучих елементів з HRC 57-60 до 60-63 збільшення стійкості складо всього 2–3 % [9].

Дослідження крайового зношування ріжучих кромок за відповідною методикою показало стрімке зниження зношування при зростанні твердості ріжучих кромок з 4000-5000 до 10000-13000 МПа (рис. 7) [8]. Досліди на крайове зношування проводяться до затуплення кромки зразка «ніж». Особливістю цих дослідів є малий час випробувань, що складає кілька хвилин. Це дозволяє значно зменшити час випробувань та збільшити кількість дослідів.

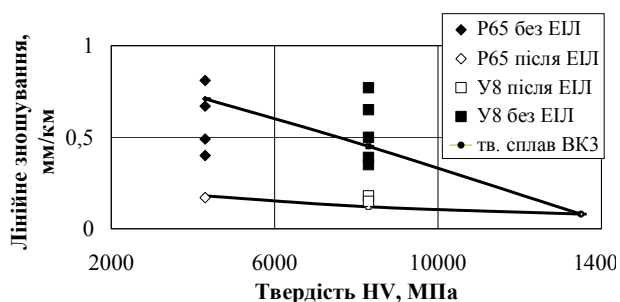


Рис. 7 – Залежність крайового відносного лінійного зношування ріжучих кромки від твердості матеріалів.

Зносостійке покриття, нанесене електроіскровим легуванням є дискретним. Суцільність покриття була визначена розподілом середнього значення мікротвердості по глибині зміцненої поверхні (рис. 8).

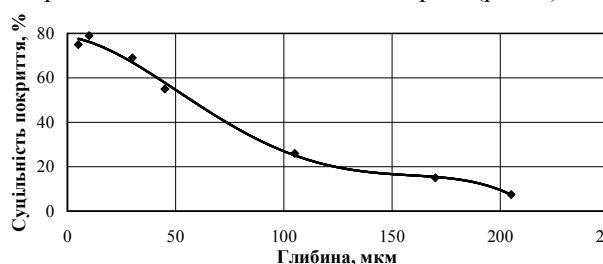


Рис. 8 – Залежність суцільності покриття від глибини зміцненого шару.

З цієї залежності випливає, що суцільність покриття на поверхні матеріалу складає близько 80%, тобто в результаті ЕІЛ виходить дискретне покриття, що підвищує його міцність та зносостійкість. Мікротвердість та суцільність покриття падають із збільшенням глибини зміцненого шару. На глибині 200 мкм досягнуто значення мікротвердості вихідного матеріалу, а суцільність покриття наближається до нуля. Тобто глибина зміцненого шару складає близько 200 мкм, що повністю підтверджує правильність даних, отриманих при вивченні впливу часу обробки на бічній поверхні.

Перевірка отриманих результатів здійснювалася шляхом натурних випробувань ріжучих елементів із сталі ШХ 15 (HRC 61...63) на експериментальному устаткуванні для різання дроту [10]. Як відомо, актуальним є встановлення функціональної залежності між зношуванням ріжучих кромки робочих частин штампу та величиною завусеня, що утворюється на вирубуваних деталях і пробитих отворах різного роду матеріалів за заданих умов деформації.

Була досліджена стійкість ножів із сталі ШХ 15-ШД (верхній ніж HV 674...741, нижній ніж HV 706...733), зміцнених електроіскровим легуванням за різними технологіями:

- електроіскрове легування в два прошарки (спочатку тврдосплавним електродом ВК20, а потім – графітовим електродом), досягнуто середнє значення твердості ножів HV 1124, в процесі роботи штампу ножі виконали 14 тис. штампоударів;

- електроіскрове легування тврдосплавним електродом ВК20 за розробленою раніше технологією (ручний режим, струм в імпульсі 30–35 А), середнє значення мікротвердості HV 1081. В процесі роботи ножі виконали 20 тис. штампоударів.

За результатами цих випробувань побудовані залежності (рис. 9) абсолютної величини завусеня (мм) від кількості штампоударів для цієї пари ножів, що дозволяє зробити наступні висновки. Швидкість росту завусеня помітно уповільнилась в порівнянні з традиційним загартуванням ножів, після проведення якого гранична величина завусеня (0,1 мм) досягалась вже після 8-9 тисяч штампоударів. Після ЕІЛ величина завусеня 0,1 мм досягається при 16–18 тисяч циклів роботи ножів.

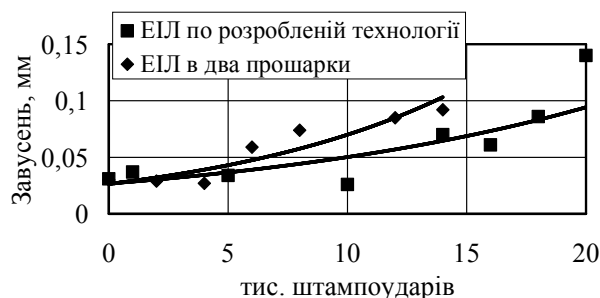


Рис. 9 – Результати випробувань ножів із сталі ШХ 15, зміцненої електроіскровим легуванням (HV 1080-1120).

Це приблизно в два рази менше, ніж при загартуванні, та наближається до показників ножів, зміцнених нітридом хрому. Випробування ножів, зміцнених ЕІЛ за традиційною технологією, показали наявність стадії інтенсивного росту завусеня при 16-20 тис. штампоударів. Разом з тим, слід відмітити достатньо велике значення початкового завусеня (0,03–0,035 мм), що пояснюється підвищенням шорсткості поверхні ножів після ЕІЛ. Для зниження цього явища застосовувалось шліфування поверхні ножів після ЕІЛ.

#### Висновки.

1. Встановлено, що оптимальне значення технологічного параметру ЕІЛ – струму в імпульсі розряду складає 35–40 А (при питомому часу обробки поверхні 2–3 хв/см<sup>2</sup>). Глибина, на яку поширюється вплив ЕІЛ, тобто товщина зміцненого шару, становить 0,15-0,20 мм.

2. Після проведення ЕІЛ досягнуто збільшення мікротвердості ріжучих кромки в 1,3-1,8 рази. Це призводить до підвищення їх зносостійкості в 2–2,5 рази, що підтверджено натурними випробуваннями.

3. Суцільність покриття, нанесеного методом ЕІЛ на поверхню ріжучих кромки, близько 80% біля зміцненої поверхні, тобто метод ЕІЛ дозволяє отримувати дискретне покриття.

**Список літератури:** 1. Мамедов З.Г. Влияние поверхностного упрочнения на износостойкость рабочих деталей штампов холодного деформирования/ Мамедов З.Г., Тагиев Э.А., Каграманов И.К.// Кузнечно-штамповочное производство. 1980. №4. С. 21–22. 2. Хронусов В.С. Влияние электроискровой упрочняющей обработки на износ разделительных штампов/ Хронусов В.С., Сиротенко Л.Д.// Вестник машиностроения. 1987. №2. С. 53–55. 3. Михайленко Ф.П. Способ измерения и методика

определения отдельных видов износа режущих кромок пуансонов разделительных штампов/ Михайленко Ф.П., Гулиев А.И., Аллахвердиев К.И.// Кузнечно-штамповочное производство. – 1988. – №1. – С. 37–8. 4. Краснопольский М.А. Определение величины износа режущих кромок вырубных штампов/ Краснопольский М.А.// Вестник машиностроения. – 1960. – №5 – С.48–51. 5. Леник К.С. О механизме изнашивания рабочих частей вырубных штампов при штамповке высоколегированной электротехнической стали / Леник К.С., Фукс-Рабинович Г.С., Кузнецов А.Н.// Кузнечно – штамповочное производство. – 1985. – №12. – С. 15–17. 6. Михайленко Ф.П. Экспериментально-аналитический метод определения износа рабочих частей разделительных штампов/ Михайленко Ф.П., Гулиев А.И.// Вестник машиностроения. – 1986. – №6. – С. 49–53. 7. Маковой В.А. Повышение ресурса эксплуатации высоконагруженных колесных пар локомотивов/ Маковой В.А., Бородий Ю.П., Силич В.Н.// Технологические системы. Киев. – 2/2003. – С. 89–94. 8. Маковой В.А. Влияние электроискрового легирования на износ режущих элементов штампов/ Маковой В.А., Бородий Ю.П.// Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2001. №9. – С. 30–33. 9. Романовский В.П. Исследование стойкости режущих элементов универсально-сборных штампов для вырубки-пробивки/ Романовский В.П., Мовшович И.Я., Долгов А.А.// Кузнечно-штамповочное производство. – 1970. – №6. – С. 16. 10. Бородий Ю.П. Підвищення стійкості ріжучих елементів розділових штампів поверхневим зміцненням/ Бородій Ю.П.// Вісник НТУУ КПІ. Машинобудування, вип. 60. Київ. – 2010. – С. 60–63.

**Bibliography (transliterated):** 1. Mamedov Z.G. Vliyanie poverhnostnogo uprochnenija na iznosostojkost' rabochih detalej shtampov holodnogo deformirovanija/ Mamedov Z.G., Tagiev Je.A.,

Kagramanov I.K.// Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. 1980. No4. P. 21–22. 2. Hronusov V.S. Vlijanie jelektriskrovoj uprochnjajushhej obrabotki na iznos razdelitel'nyh shtampov/ Hronusov V.S., Sirotenko L.D.// Vestnik mashinostroenija. 1987. – No2. – P. 53–55. 3. Mihajlenko F.P. Sposob izmerenija i metodika opredelenija otdel'nyh vidov iznosa rezhushhijh kromok puansonov razdelitel'nyh shtampov/ Mihajlenko F.P., Guliev A.I., Allahverdiev K.I.// Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. – 1988. – No1. – P. 37–38. 4. Krasnopol'skij M.A. Opredelenie velichiny iznosa rezhushhijh kromok vyrubnyh shtampov/ Krasnopol'skij M.A.// Vestnik mashinostroenija. – 1960. – No5 – P.48–51. 5. Lenik K.S. O mehanizme iznashivaniya rabochih chastej vyrubnyh shtampov pri shtampovke vysokolegirovannoj jelektritehnicheskoj stali/ Lenik K.S., Fuks-Rabinovich G.S., Kuznecov A.N.// Kuznechno – shtampovocnoe proizvodstvo. – 1985. – No12. – P. 15-17. 6. Mihajlenko F.P. Jeksperimental'no-analiticheskij metod opredelenija iznosa rabochih chastej razdelitel'nyh shtampov/ Mihajlenko F.P., Guliev A.I.// Vestnik mashinostroenija. – 1986. – No6. – P. 49–53. 7. Makovej V.A. Povyshenie resursa jekspluatcii vysokonagruzhennyh kolesnyh par lokomotivov/ Makovej V.A., Borodij Ju.P., Silich V.N.// Tehnologicheskie sistemy. Kiev. – 2/2003. – P. 89–94. 8. Makovej V.A. Vlijanie jelektriskrovogo legirovanija na iznos rezhushhijh jelementov shtampov/ Makovej V.A., Borodij Ju.P.// Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. Obработка materialov davleniem. – 2001. No 9. – P. 30–33. 9. Romanovskij V.P. Issledovanie stojkosti rezhushhijh jelementov universal'no-sbornyh shtampov dlja vyrubki-probivki/ Romanovskij V.P., Movshovich I.Ja., Dolgov A.A.// Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo. – 1970. – No6. – P. 16. 10. Borodij Ju.P. Pidvishennja stijkosti rizhuchijh elementiv rozdilovijh shtampiv poverhnevim zmichennjam/ Borodij Ju.P.// Visnik NTUU KPI. Mashinobuduvannja, vip. 60. Kiiv. – 2010. – P. 60–63.

Надійшла (received) 15.10.2015

#### Відомості про авторів / About the Authors

**Маковой Валерий Алексеевич** – к.т.н. доцент, НТУУ «КПІ», кафедра МПМ і РП. Адрес: пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056. Контактный телефон: (044) 4549611, e-mail: makovei@ukr.net

**Бородий Юрий Петрович** – к.т.н. доцент, НТУУ «КПІ», кафедра МПМ і РП. Адрес: пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056. Контактный телефон: (044) 4549611, (099) 486-11-46, e-mail: borodiyuriy@ukr.net

**Makovej Valerij Olekseevich** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University «Kyiv Polytechnic Institute», Associate Professor at the Department of Mechanics of Plasticity of Metals and Processes with Save Resources; tel.: (044) 4549611, e-mail: makovei@ukr.net

**Borodiy Yuriy Petrovich** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University «Kyiv Polytechnic Institute», Associate Professor at the Department of Mechanics of Plasticity of Metals and Processes with Save Resources; tel.: (044) 4549611, (099) 486-11-46, e-mail: borodiyuriy@ukr.net