

СТВОРЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОМБІНОВАНИХ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ НА РІЖУЧИХ КРОМКАХ НОЖІВ ДЛЯ РІЗАННЯ ДРОТУ

Метою статті є проведення комплексних досліджень зношування комбінованих зносостійких покриттів, що включають їх натурні випробування при різанні дроту в штампі-автоматі, оцінку ефективності зносостійких покриттів, їх вплив на стійкість ножів, аналіз напружено-деформованого стану ножів та особливостей механізмів зношування ріжучих елементів. Запропонована методика та створена установка для проведення порівняльних випробувань різних зносостійких покриттів на ножках для різання дроту. Натурні дослідження при різанні дроту в автоматичному режимі роботи пресу та вивчення впливу зносостійких покриттів показали підвищення стійкості ножів у 2-3,5 рази. Встановлено співпадання розподілу напружень в верхньому та нижньому ножках з характером їх зношування, що повністю підтверджує достовірність результатів чисельного моделювання та правильність обраних розрахункових схем. Для дослідження особливостей процесу зношування, описання механізмів зношування, визначення параметрів процесу зношування були проведені фрактографічні дослідження ножів.

Ключові слова: ножі, різання дроту, стійкість, комбіновані зносостійкі покриття, завузь, ріжучі кромки, напружено-деформований стан.

Вступ. В сучасних умовах ринкової економіки підвищується попит на конкурентноспроможну промислову продукцію, сучасні технічно досконалі вироби. Це вимагає систематичного і швидкого їх впровадження у виробництво, підвищення продуктивності та якості виробів. Одним з основних шляхів підвищення продуктивності праці в металообробній промисловості є застосування холодного листового та об'ємного штампування – найбільш прогресивних методів обробки металів тиском.

Економічна доцільність застосування холодного штампування тісно пов'язана з вартістю штампів, що припадає на одиницю виробу, величина якої в основному обумовлена їх стійкістю. Висока стійкість штампів – основна умова рентабельності роботи штампувальних цехів. Від неї в значній мірі залежать якість та собівартість штампованих виробів. Початкові витрати на штампувальний інструмент складають близько 15-25 % від загальної собівартості продукції. Потрібно також враховувати тенденцію до здорожчення інструментальних і штампових сталей.

Досягнення високої міцності та зносостійкості поверхні робочих деталей штампів у великій мірі залежить від вихідних властивостей поверхневих прошарків, сформованих при їх виготовленні за допомогою зміцнюючих технологій – термічної, хіміко-термічної, електроіскрової, лазерної та іншими.

Постановка завдання. Метою роботи є проведення комплексних досліджень зношування комбінованих зносостійких покриттів, що включають їх натурні випробування при різанні дроту в автоматичному режимі роботи пресу, оцінку ефективності зносостійких покриттів, їх вплив на стійкість ножів, аналіз напружено-деформованого стану ножів та особливостей механізмів зношування ріжучих елементів.

Основний матеріал та результати. Для проведення експериментальних досліджень стійкості ріжучих елементів була розроблена методика натурних випробувань на стійкість ріжучих кромок розділових штампів при різанні дроту та методика оцінки зносостійкості. У зв'язку з цим виникла необхідність порівняльної оцінки впливу різних способів зміцнюючої обробки при натурних випробуваннях. Для перевірки стійкості ріжучих елементів

штампів з комбінованим зносостійким покриттям була спроектована та виготовлена установка (рис. 1) для різання дроту [1].

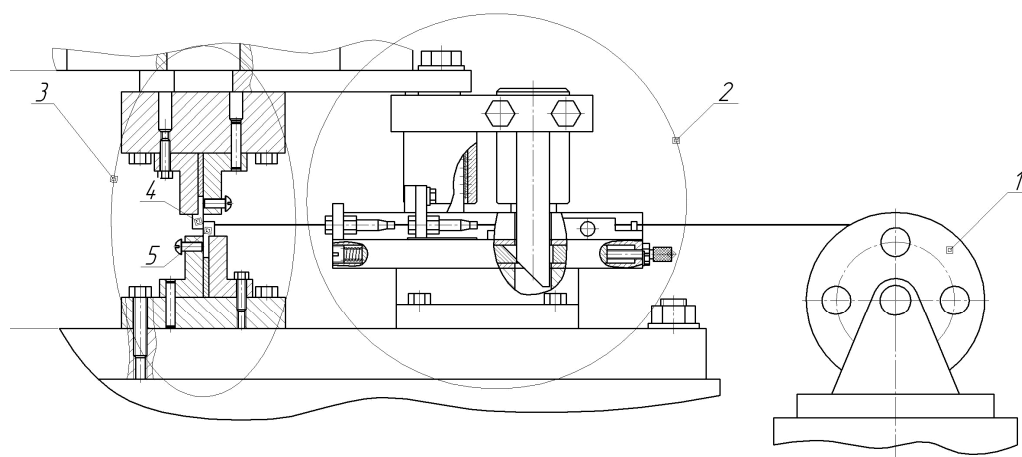


Рис. 1. Схема установки для випробувань на стійкість ножів: 1–бухта з дротом, 2–автоматична подача, 3–штамп для різання дроту, 4–верхній ніж, 5–нижній ніж

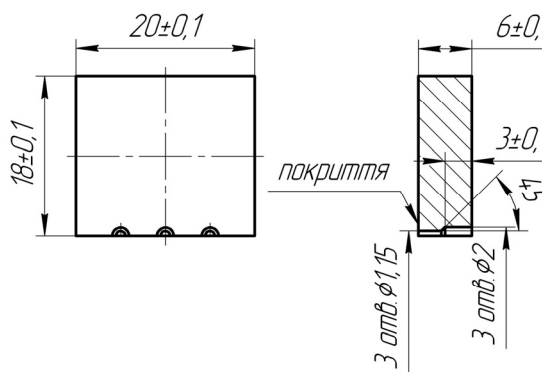


Рис. 2. Конструкція верхнього ножа

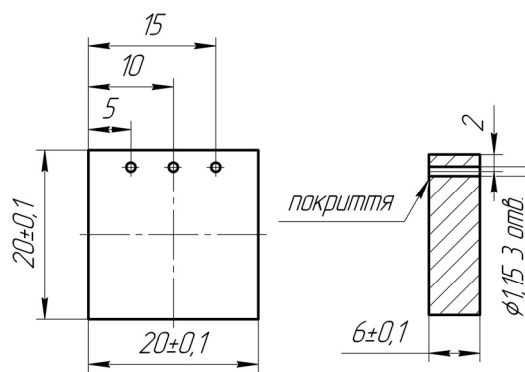


Рис. 3. Конструкція нижнього ножа

Випробувальна установка встановлюється на механічний однокривошипний відкритий прес моделі КД 2322 номінальним зусиллям 160 кН та з номінальним числом ходів 120 ход/хв. Штамп і подача узгоджені в своїй роботі.

Випробування проводились на ножах (рис. 2 та рис. 3) з різних матеріалів, у тому числі із сталі ШХ 15 (HRC 61...63) до та після нанесення комбінованих зносостійких покриттів. Дослідження проводились при різанні сталюго дроту $\varnothing 1$ мм. Основним параметром, за яким оцінювалась стійкість ножів, була величина завусеня на дроті, що відрізається. Величина завусеня вимірювалась на інструментальному мікроскопі в процесі роботи ножів (через 1-3 тис. циклів різання дроту). При досягненні граничної величини завусеня, яка складає 10% від діаметра дроту (0,1 мм) випробування припинялись. Таким чином, за кількістю штампуударів, необхідних для досягнення граничної величини завусеня (0,1 мм), оцінювалась стійкість ножів, зміцнених різними способами [2-3].

За результатами випробувань побудовані графічні залежності (рис. 4) абсолютної величини завусеня (мм) від кількості штампуударів для пари ножів (верхній та нижній), виготовлених із сталі ШХ 15-ШД загартованої. Загартування велось шляхом нагріву до температури 880 градусів Цельсія і зануренням в мастило. Замірювалась мікротвердість ножів після загартування, вона складала HV 674...741 для верхнього ножа та HV 706...733 для нижнього ножа.

Як видно з графіка, завусень повільно зростає при числі циклів до 5 тис. Зростання завусеня носить характер, близький до лінійного. При числі циклів від 5 до 10 тисяч завусень зростає значно швидше, і при третьому та четвертому випробуваннях досягає грани-

чних значень (0,1 мм та більше). При подальшій роботі ножів спостерігалась найбільша інтенсивність росту завусеня, що призвело до закінчення випробувань (завусень досягав 0,12-0,2 мм).

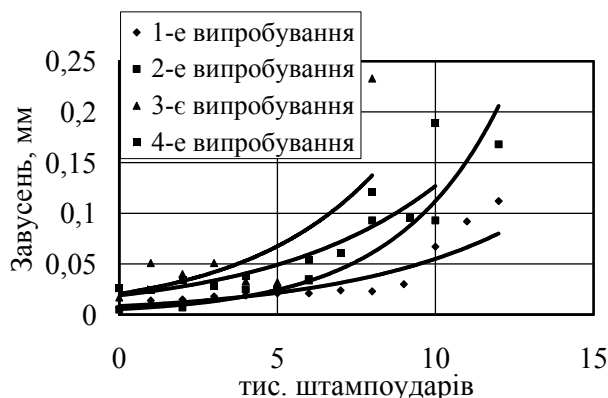


Рис. 4. Результати випробувань ножів із сталі ШХ 15 загартованої (верхній ніж HV 674...741, нижній ніж HV 706...733)

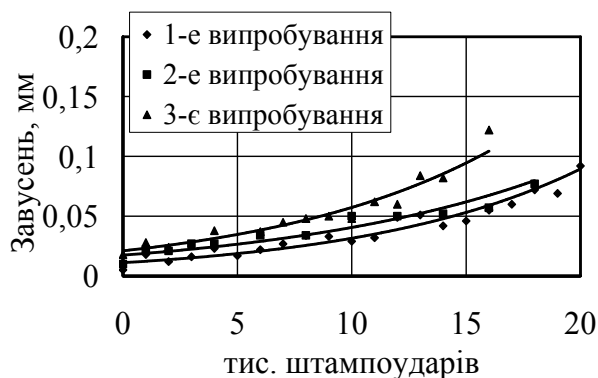


Рис. 5. Результати випробувань ножів із сталі ШХ 15, зміцненої нітридом хрому (верхній ніж HV 883, нижній ніж HV 947)

тродом ВК20, а потім – графітовим електродом. Досягнуто середнє значення твердості ножів HV 1124. В процесі роботи штампу ножі виконали 14 тис. штампоударів на цьому отворі.

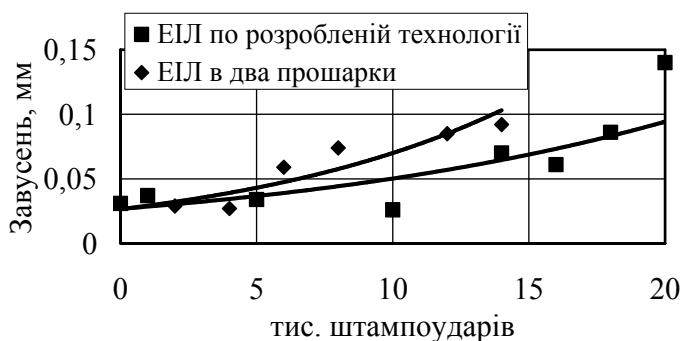


Рис. 6. Результати випробувань ножів із сталі ШХ 15, зміцненої електроіскровим легуванням (HV 1080-1120)

За результатами натурних випробувань побудовані графічні залежності (рис. 5) абсолютної величини завусеня (мм) від кількості штампоударів для пари ножів, виготовлених із сталі ШХ 15-ШД та поверхнево зміцнених нітридом хрому. Середнє значення мікротвердості ножів після зміцнення складо HV 883 для верхнього ножа та HV 947 для нижнього ножа.

Аналізуючи графічну залежність, слід відмітити, що характер росту завусеня близький до лінійного при числі циклів до 15-20 тисяч. Крім того, відсутня стадія інтенсивного росту завусеня. При досягненні 20 тисяч циклів у першому та другому випробуваннях не була досягнута навіть гранична величина завусеня 0,1 мм. Це дає змогу стверджувати, що обробка робочих поверхонь ножів нітридом хрому приводить до підвищення їх стійкості в 2-3 рази у порівнянні із традиційним загартуванням.

Була досліджена стійкість ножів із сталі ШХ 15-ШД (верхній ніж HV 674...741, нижній ніж HV 706...733), зміцнених електроіскровим легуванням (ЕІЛ). Перший отвір обох ножів зміцнений комбінованим способом, що включав проведення електроіскрового легування в два прошарки: спочатку твердосплавним елек-

тродом ВК20, а потім – графітовим електродом. Досягнуто середнє значення твердості ножів HV 1124. В процесі роботи штампу ножі виконали 14 тис. штампоударів на цьому отворі.

Другий та третій отвори цієї пари ножів були зміцнені електроіскровим легуванням твердосплавним електродом ВК20 за розробленою раніше технологією (режим з вібрацією електроду, струм в імпульсі 30-35 А). Середнє значення мікротвердості цих ножів HV 1081. В процесі роботи ножі виконали по 20 тис. штампоударів на другому та третьому отворах.

За результатами цих випробувань побудовані залежності (рис. 6)

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. Величина завусеня 0,1 мм досягається при 16-18 тисяч циклів роботи ножів.

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.

Результати проведених досліджень дозволили оцінити залежність росту завусеня від ефективності поверхневого зміцнення ножів. За оціночний параметр взята швидкість росту завусеня, що обчислюється в міліметрах абсолютного розміру завусеня, віднесених до кількості циклів (штампоударів), протягом яких цей завусень сформувався.

На рис. 7 показана залежність швидкості росту завусеня від середнього значення твердості ножів, досягнутої різними методами поверхневого зміцнення.

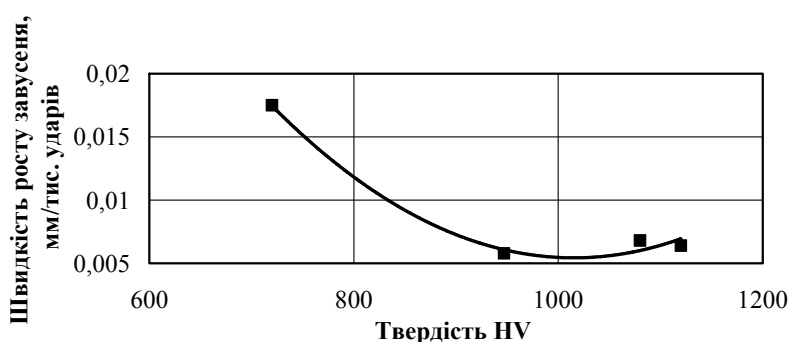


Рис. 7. Залежність швидкості росту завусеня від твердості ножів

При підвищенні твердості з HV 750 до HV 950 спостерігається стрімке лінійне уповільнення росту завусеня з 0,018 до 0,006-0,007 мм/тис. циклів, тобто у 2,5-3 рази. При твердостях HV 950...1100 швидкість росту завусеня стабілізується на рівні 0,006-0,007 мм/тис. циклів.

Зовнішній вигляд но-

жів, зокрема їх частини з отворами для різання дроту, представлений на рис. 8 (а, б, в).



Рис. 8. Вигляд ножів для різання дроту

В ході подальших досліджень різні пари ножів для різання дроту були зміцнені наступними способами:

- №1 – комбінованою обробкою ріжучої кромки, яка включає загартування, нанесення нітриду хрому, азотування, повторне загартування.

- №4 – початкова обробка ріжучої кромки методом ЕІЛ за розробленою технологією, а потім періодична обробка методом ЕІЛ по мірі зношування ріжучої кромки (через 2-5 тис. циклів роботи).

На рис. 9 представлені графічні залежності величини завусеня від кількості робочих циклів при різних способах зміцнення ріжучої кромки. Для порівняння на графіку представлені наведені раніше результати (див. рис. 5):

- №2 – ножі із сталі ШХ 15 (HRC61...63), зміцнені комбінованою обробкою, яка включає проведення ЕІЛ в два прошарки спочатку твердосплавним, а потім графітовим електродом;

- №3 – обробка ріжучої кромки методом ЕІЛ за розробленою раніше технологією.

Аналізуючи останні залежності, можна зробити висновок, що вказані вище методи зміцнення ріжучих кромок дозволяють підвищити стійкість ножів у 2-3 рази у порівнянні з традиційним загартуванням ножів [2-3].

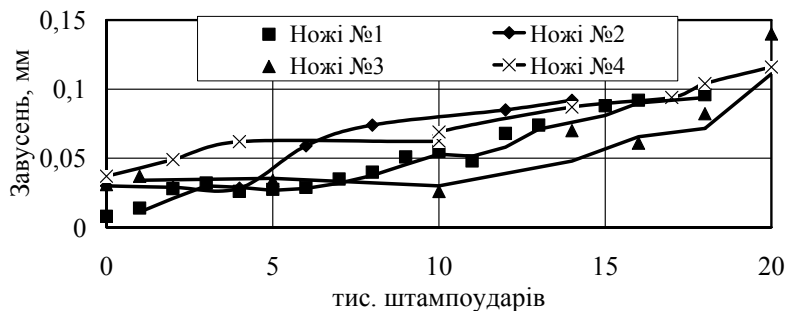


Рис. 9. Вплив зміцнення ріжучої кромки різними методами на стійкість розділових штампів

Для підвищення стійкості ріжучих елементів штампів в умовах виробництва розроблена технологія створення комбінованих покриттів з використанням ЕІЛ спочатку твердим сплавом, потім графітовим електродом, знову ЕІЛ твердим сплавом та графітом.

Результати дослідження стійкості ножів з вказаним покриттям приведені на рис. 10. Проведені дослідження показали збільшення стійкості ножів в 2 рази.

Відомо, що ріжучі кромки ножів для різання дроту експлуатуються в складних умовах циклічного навантаження з концентрацією напружень на кромках. Ці напруження досягають значних значень, що приводить до змінання, зношування та викришування кромок [4-6].

Визначенню розподілу напружень в ріжучих кромках присвячена значна кількість робіт, в яких [7] для аналізу напружено-деформованого стану (НДС) ріжучих кромок та заготовки використовувались експериментально-розрахункові підходи, які засновані на методі ліній ковзання. При цьому залишалось маловивченим, які діють сили та виникають напруження в процесі різання матеріалу.

З однієї сторони, вважають існування високих розтягуючих напружень в області

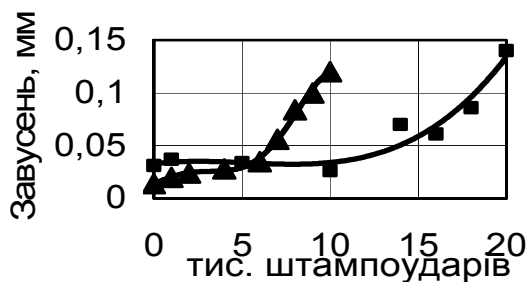


Рис. 10. Стійкість ножів із сталі ШХ-15шд після зміцнення комбінованим електроіскровим легуванням твердим сплавом ВК-15 та графітом: до та після зміцнення

кромки [6], які призводять до руйнування втому, з іншої сторони, вказують [7], що на ріжучі кромки діють високі напруження стиску, які приводять до їх змінання. Знання цих даних необхідне для розробки методів підвищення стійкості ріжучих кромок.

В ході виконання роботи була зроблена оцінка методом скінчених елементів параметрів процесу різання дроту ножами: зусилля, розподілу напружень в ріжучих кромках ножів.

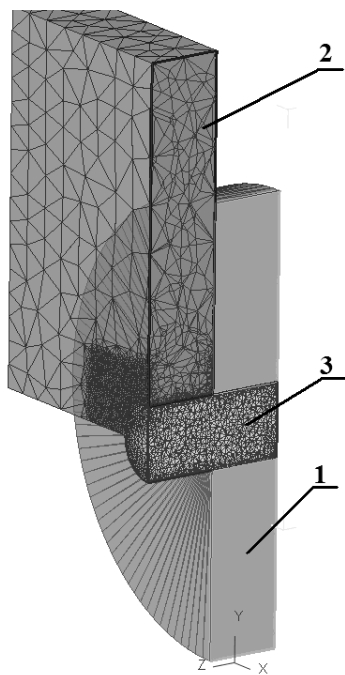


Рис.11. Розрахункова схема системи нерухомий ніж – дрiт – рухомий ніж:

- 1 – нижній (нерухомий) ніж;
 2 – верхній (рухомий) ніж;
 3 – дрiт

Дуже важливим є правильний вибір розрахункової схеми, від якої залежать чисельні значення величин, що визначаються, а також достовірність їх визначення. В цьому випадку для моделювання системи нерухомий ніж – дрiт – рухомий ніж (рис. 11) був залучений програмний пакет Deform-2d. Параметрами для дослідження різання дроту ножами виступають: діаметр дроту, рівний 1 мм; коефіцієнт тертя, рівний 0,1; фізико-механічні властивості матеріалу та параметри скінчено-елементної сітки. На кінцевій стадії процесу розділення, коли відбувається руйнування матеріалу, при використанні для моделювання методу скінчених елементів (МСЕ) використовувався критерій руйнування *normalized Cockcroft–Latham*, який передбачений в програмному пакеті Deform – 2d.

На рис. 12 наведено порівняння результатів чисельного моделювання процесу різання дроту ножами (а) з фрактографічними дослідженнями (б) зношування нижнього нерухомого ножа, виготовленого із сталі ШХ15 з покриттям нітридом хрому (HV 947) після 16 тис. штампоударів.

Для дослідження особливостей процесу зношування, описання механізмів зношування, визначення параметрів процесу зношування були проведені фрактографічні дослідження ножів

для різання дроту.

В процесі обробки фрактографій досліджувалися геометричні параметри зони зношування ножів. В якості таких параметрів визначались: абсолютні висота та ширина зони зношування в міліметрах, а також площа зони зношування. Вимірювання цих параметрів здійснювалось за допомогою графічних програм. Для прикладу на рис. 13-14 показані результати вимірювань для нижнього ножа, виготовленого із сталі ШХ15 з покриттям нітридом хрому (HV 947).

За результатами досліджень побудовані графічні залежності висоти (рис. 15) та площі (рис. 16) зони зношування від абсолютної величини завусеня.

Оскільки кожен з ножів виконав різну кількість робочих циклів, то для порівняльної оцінки стійкості ножів, зміцнених різними способами, використовувались наступні параметри:

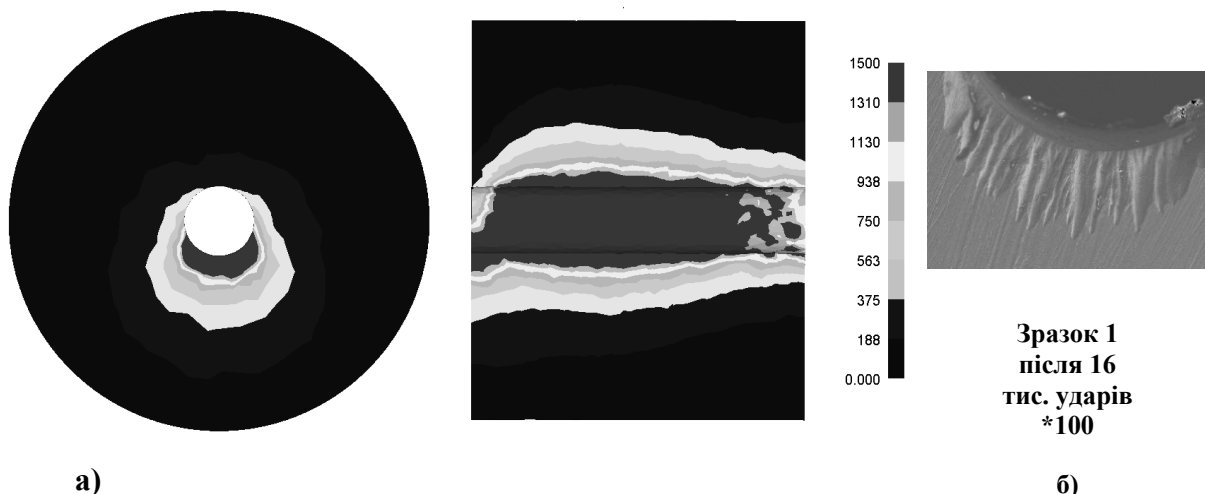
1) Швидкість росту завусеня (мм/тис. ударів) визначалась, як абсолютна величина завусеня, поділена на кількість штампоударів, при якій утворився даний завусень.

2) Питома висота зони зношування (мм/тис. ударів) визначалась як абсолютна висота зони, віднесена до кількості штампоударів.

3) Питома площа зони зношування (мм²/тис. ударів) визначалась як абсолютна величина площі зони зношування, віднесена до кількості штампоударів.

За результатами досліджень та розрахунків побудовані графічні залежності питомої висоти (рис. 17) та питомої площі (рис. 18) зони зношування від середнього значення твердості ножів [3,8].

Розподіл інтенсивності напружень по об'єму
нерухомого ножа, МПа



а)

б)

Рис. 12. Порівняння результатів чисельного моделювання процесу різання дроту ножами (а) з фрактографічними дослідженнями, (б) зношування нижнього нерухомого ножа, виготовленого із сталі ШХ15 з покриттям нітридом хрому (HV947) після 16 тис. штампоударів

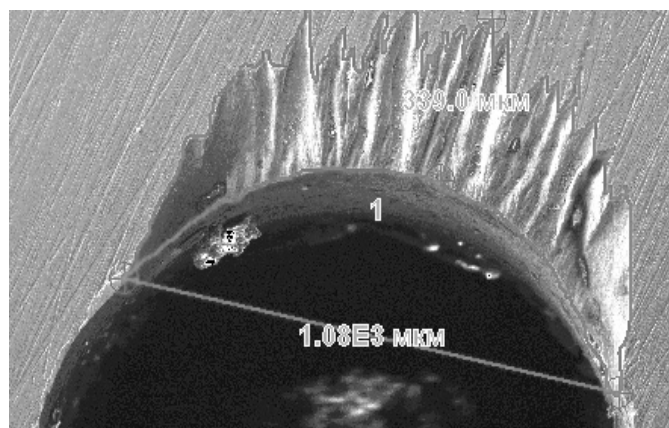


Рис. 13. Параметри зони зношування (висота та ширина) нижнього ножа (отвір 1 після 16 тис. ударів) *40

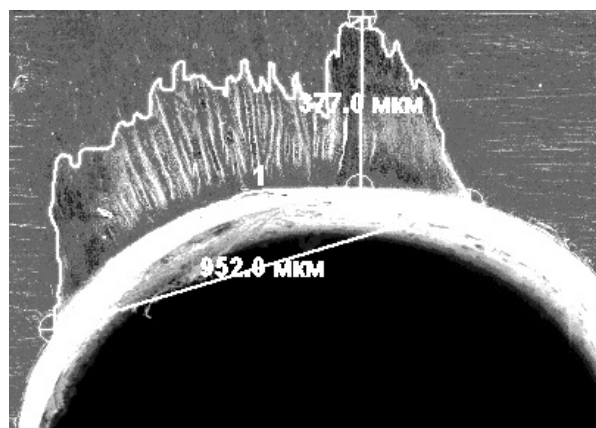


Рис. 14. Параметри зони зношування (висота та ширина) нижнього ножа (отвір 2 після 18 тис. ударів) *40

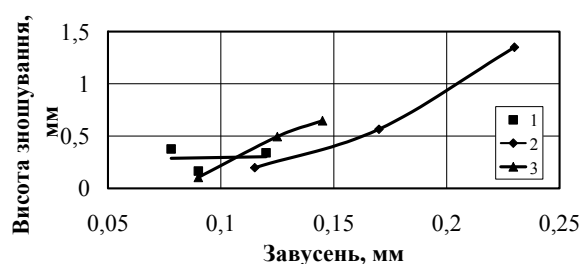


Рис. 15. Залежність висоти зони зношування (мм) від абсолютної величини завусеня

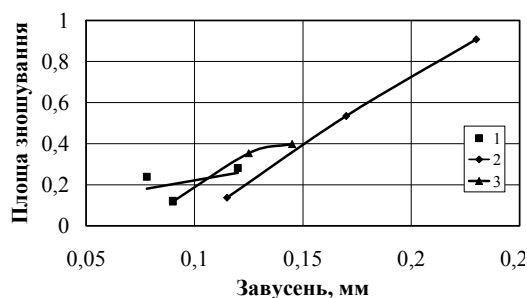


Рис. 16. Залежність площі зони зношування (мм²) від абсолютної величини завусеня

- 1 – нижній ніж, виготовлений із сталі ШХ15 з покриттям нітридом хрому (HV 947);
 2 – нижній ніж із сталі ШХ15 з загартуванням до HV 706...733 (12 тис. штампоударів);
 3 – верхній ніж із сталі ШХ15 з загартуванням до HV 674...741

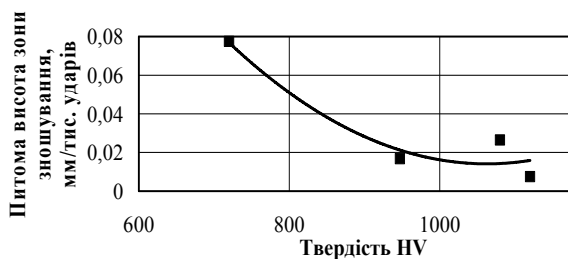


Рис. 17. Залежність питомої висоти зони зношування від твердості ножів

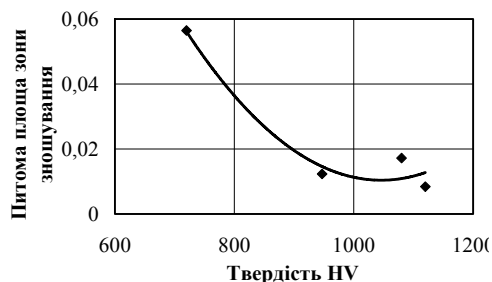


Рис. 18. Залежність питомої площі зони зношування від твердості ножів

Висновки. 1. Запропонована методика та створена установка для проведення порівняльних випробувань різних зносостійких покриттів на ножах для різання дроту; 2. Натурні дослідження при різанні дроту в автоматичному режимі роботи пресу та вивчення впливу зносостійких покриттів показали підвищення стійкості ножів у 2-3,5 рази. Нанесення комбінованих покриттів здійснювалося з використанням різних видів електроіскрового легування, нанесення нітриду хрому, загартування, азотування; 3. Встановлена залежність швидкості росту завусеня на деталях від твердості ножів для різання дроту; 4. Встановлено співпадання розподілу напружень в верхньому та нижньому ножах з характером їх зношування, що повністю підтверджує достовірність результатів чисельного моделювання та правильність обраних розрахункових схем; 5. Для дослідження особливостей процесу зношування, описання механізмів зношування, визначення параметрів процесу зношування були проведені фрактографічні дослідження ножів. Визначена залежність висоти та площі зони зношування від абсолютної величини завусеня. Визначена залежність питомої висоти та питомої площі зони зношування від середнього значення твердості ножів.

Література

1. Патент на корисну модель №47277 Україна, МПК G01N 3/56. Спосіб для дослідження стійкості ріжучих елементів/ Маковей В.О., Бородій Ю.П., Куріхін В.С., Москаленко В.І. (Україна) НТУУ. – № u2009 07686 Заявл. 21.07.2009; Опубл. 25.01.2010, Бюл. №2.
2. Маковей В.О. Формування та дослідження комбінованих зносостійких покриттів на ріжучих кромках штампів та на деталях машин/ Маковей В.О., Бородій Ю.П., Куріхін В.С.// Вестник НТУУ КПИ. Машиностроение, вып. 55. Київ. - 2009. - С. 256-264.
3. Бородій Ю.П. Підвищення стійкості ріжучих елементів розділових штампів поверхневим зміцненням/ Бородій Ю.П.// Вісник НТУУ КПИ. Машинобудування, вип. 60. Київ. - 2010. - С. 60-63.
4. Леник К.С. О механизме изнашивания и разрушения рабочих частей вырубных штампов при штамповке высоколегированной электротехнической стали/ Леник К.С., Фукс-Рабинович Г.С., Кузнецов А.Н.// Кузнечно-штамповочное производство. – 1988. - № 12. – С. 15-17.
5. Георгиев М.Н. Роль трещиностойкости в изнашивании гетерофазных штамповых сталей при вырубке/ Георгиев М.Н., Фукс-Рабинович Г.С.// ФХММ. – 1987. - № 3. – С. 63-66.
6. Степанский Л.Г. Усталостная прочность режущих кромок вырубных и пробивных пуансонов и матриц/ Степанский Л.Г., Чемерис Е.И.// Кузнечно-штамповочное производство. – 1992. - № 8. – С. 7-8.
7. Дьоміна Н.А. Наукове обґрунтування конструювання робочих деталей розділових штампів/ Дьоміна Н.А., Євстратов В.О., Ткачук М.А.// Вісник Національного технічного університету «ХП». Х.: – 2011. - № 45. – С. 13-22.
8. Бородій Ю.П. Підвищення стійкості розділових штампів комбінованим поверхневим зміцненням/ Бородій Ю.П. // : Дис. канд. наук: 05.03.05 - 2013.

© Ю. П. Бородій

СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА РЕЖУЩИХ КРОМКАХ НОЖЕЙ ДЛЯ РЕЗКИ ПРОВОЛОКИ

Целью статьи является проведение комплексных исследований износа комбинированных износостойких покрытий, включающее их натурные испытания при резке проволоки в штампе-автомате, оценку эффективности износостойких покрытий, их влияние на стойкость ножей, анализ напряженно-деформированного состояния ножей и особенностей механизмов износа режущих элементов. Предложена методика и создана установка для проведения сравнительных испытаний различных износостойких покрытий на ножах для резки проволоки. Натурные исследования при резке проволоки в автоматическом режиме работы прессы и изучение влияния износостойких покрытий показали повышение стойкости ножей в 2-3,5 раза. Установлено совпадение распределения напряжений в верхнем и нижнем ножах с характером их износа, что полностью подтверждает достоверность результатов численного моделирования и правильность выбранных расчетных схем. Для исследования особенностей процесса износа, описания механизмов износа, определения параметров процесса износа были проведены фрактографические исследования ножей.

Ключевые слова: ножи, резка проволоки, стойкость, комбинированные износостойкие покрытия, заусенец, режущие кромки, напряженно-деформированное состояние.

CREATING AND STUDY COMBINED WEAR-RESISTANT COATINGS ON CUTTING EDGE KNIVES FOR CUTTING WIRE

The purpose of this article is to conduct comprehensive studies combined wear wear-resistant coatings, including their full-scale tests at cutting the wire in the stamp box, assess the effectiveness of wear-resistant coatings, their influence on the stability of the blades, the analysis of the stress-strain state and knives Features of the wear of cutting elements. The method and installation created for comparative testing of various wear-resistant coating on the blades for cutting wire. Full-scale research in cutting wire in automatic mode, press and study the effect of wear-resistant coatings showed increasing stability knives in 2-3,5 times. Established phrase stress distribution in the upper and lower blades of the nature of their wear, fully verifies the results of numerical simulation and correctness of selected design schemes. To investigate the characteristics of the process of wear, a description of the mechanisms of wear, deterioration determining process parameters were held fraktografical studies knives.

Keywords: knives, cutting wire, resistance, wear-resistant composite coating, burr, cutting edge, the stress-strain state.