

УДК 621.979.073

Бородій Ю.П., к.т.н, доц.
НТУУ «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗНОШУВАННЯ НОЖІВ ДЛЯ РІЗАННЯ ДРОТУ

Borodiy Y.
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine (borodiyvuriv@ukr.net, mimi@kpi.ua)

RESEARCH OF PROCESS OF WEAR OF KNIVES IS FORCUTTING OF WIRE

Метою статті є узагальнення результатів фрактографічних та рентгено-структурних досліджень ножів для різання дроту, які виготовлені з різних матеріалів, поверхнево зміцнені різними способами та відпрацювали певну кількість циклів. Різання дроту діаметром 1 мм відбувалося у штампі-автоматі, що має верхній рухомий та нижній нерухомий ножі. Для дослідження особливостей процесу зношування, описання механізмів зношування, визначення параметрів процесу зношування були проведені фрактографічні дослідження ножів. Були досліджені зразки з різною зміцнюючою поверхневою обробкою. Отримані залежності висоти та площі зони зношування від абсолютної величини завусеня при різних видах зміцнюючої обробки ріжучих кромки ножів. Отримані залежності питомої висоти та питомої площі зони зношування від середнього значення твердості ножів, ріжучі кромки яких зміцнені різними видами комбінованої обробки.

Ключові слова: ножі, різання дроту, ріжучі кромки, поверхнево зміцнення, завусень, фрактографічні дослідження.

Вступ

В сучасних умовах ринкової економіки підвищується попит на конкурентно-спроможну 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 штампування – одного з найбільш прогресивних методів обробки металів тиском. Економічна доцільність застосування листового штампування тісно пов'язана з вартістю штампів, що припадає на одиницю виробу, величина якої в основному обумовлена їх стійкістю. Отже, висока стійкість штампувального інструменту – 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. Значну частину операцій обробки тиском складають розділові операції – вирубування, пробивання, різання та ін. Досягнення високої міцності та зносостійкості поверхні робочих деталей розділових штампів у великій мірі залежить від вихідних властивостей поверхневих прошарків, сформованих при їх виготовленні за допомогою різних зміцнюючих технологій.

Ріжучі кромки ножів для різання дроту експлуатуються в складних умовах циклічного навантаження. Для дослідження особливостей процесу зношування, описання механізмів зношування, визначення параметрів процесу зношування важливо провести фрактографічні дослідження ножів для різання дроту. Знання цих даних необхідне для розробки методів підвищення стійкості ріжучих кромки.

Метою статті є узагальнення результатів фрактографічних та рентгено-структурних досліджень ножів для різання дроту, які виготовлені з різних матеріалів, поверхнево зміцнені різними способами та відпрацювали певну кількість циклів. Різання дроту діаметром 1 мм відбувалося у штампі-автоматі, що має верхній рухомий та нижній нерухомий ножі [1-2].

Дослідження проводилися на наступних зразках:

1) Зразок 1 – нижній ніж, виготовлений із сталі ШХ15 з покриттям нітридом хрому (HV 947). Для підвищення продуктивності випробувань ніж має три отвори для різання дроту:

- Отвір 1 – зношування після 16 тис. штампоударів має глибокий характер, утворюється грубий рельєф поверхні (рис. 1).

- Отвір 2 – зношування після 18 тис. штампоударів, покриття з нітриду хрому стримувало термічне руйнування в процесі роботи ножів, шар нітриду хрому фрагментується та руйнується фрагментами (рис. 2). Фазовий контраст показує розподілення хрому (зелений колір) та заліза (синій колір), дозволяє стверджувати, що на границях зерен утворюється з'єднання Cr-Fe (рис. 3).

- Отвір 3 – зношування після 20 тис. ударів, також прослідковується фрагментація шару нітриду хрому (рис. 4), середній розмір фрагментів (фасеток) складає 30-40 мкм.

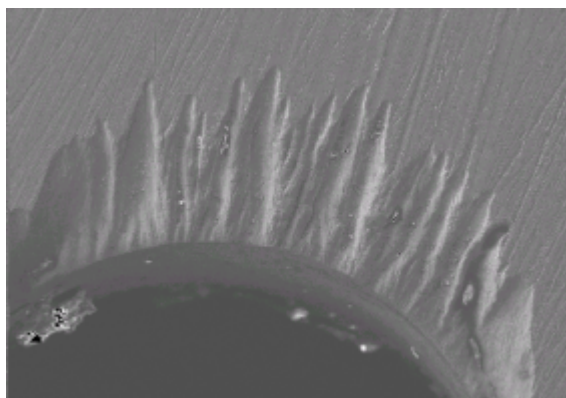


Рис. 1. Зразок 1 (отвір 1) після 16 тис. ударів *100

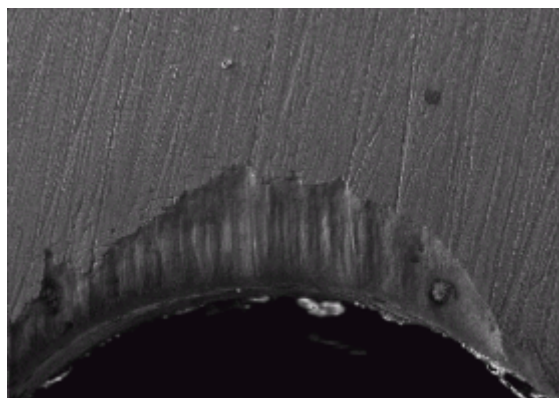


Рис. 2. Зразок 1 (отвір 2) після 18 тис. ударів *100

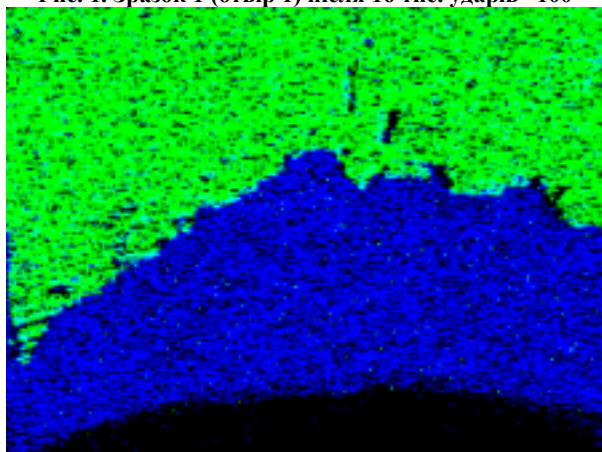


Рис. 3. Зразок 1 (отвір 2) розподілення хрому (зелений) та заліза (синє) після 18 тис. ударів *200

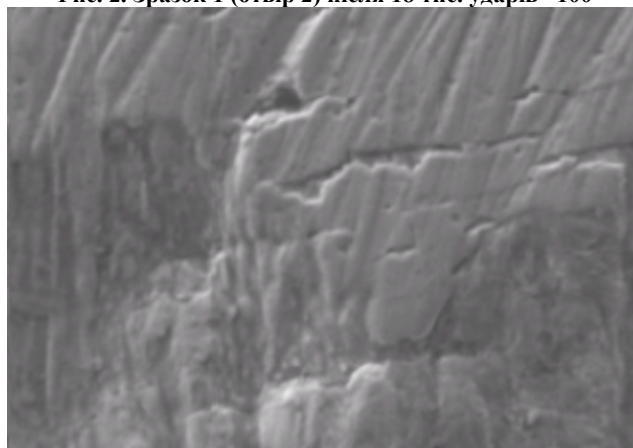


Рис. 4. Зразок 1 (отвір 3) після 20 тис. ударів *1000

2) Зразок 2 – нижній ніж, виготовлений із сталі ШХ15 з загартуванням до HV 706...733, працював 12 тис. штампоударів. Чітко прослідковуються 3 зони:

1 зона – максимального зношування.

2 зона – найбільшої пошкодженості (максимальна кількість тріщин); 3 зона – пластичний характер зношування (рис. 5). Велика кількість тріщин є наслідком високих температур при роботі ножа. Можна припустити, що покращити роботу ножів допомогло б більш ретельне шліфування та полірування поверхонь ножів.

Фазовий контраст дає змогу оцінити, що чим світліше колір, тим більше хрому (рис. 6). Чітко видно тріщину – ознака того, що зношування проходило шламом. Зелений колір відповідає хрому (рис. 7), що дозволяє стверджувати, що хром розподіляється по границям зерен.

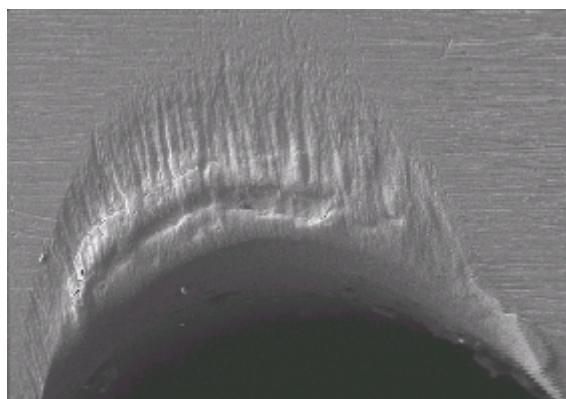


Рис. 5. Зразок 2 після 12 тис. ударів *97

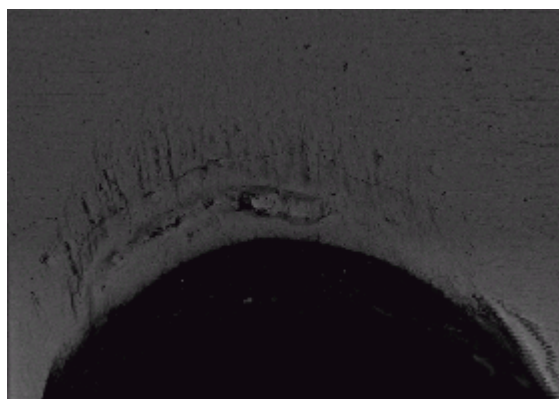


Рис. 6. Зразок 2 після 12 тис. ударів – фазовий контраст *97

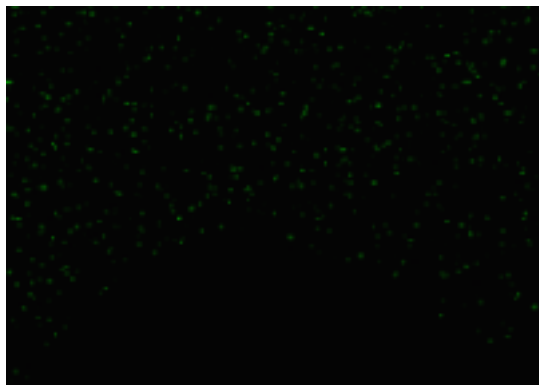


Рис. 7. Зразок 2 після 12 тис. ударів – розподілення хрому *97

3) Зразок 3 – верхній ніж, виготовлений із сталі ШХ15 з загартуванням до HV 674...741. Має три впадини для різання дроту:

- Впадина 1 – тріщини не прослідковуються. Наявність тріщин на зразку 2 та їх відсутність на зразку 3 можна пояснити наступним чином. В процесі роботи штампу для різання дроту нижній ніж зразок 2 являє собою замкнуту термодинамічну систему, в той час як верхній ніж зразок 3 є розімкненою термодинамічною системою, через що він краще охолоджується і тріщини не виникають. Як наслідок – верхній ніж менше схильний до зношування, яке має більш пластичний характер за рахунок швидкості і температури (рис. 8).

- Впадина 2 – тріщини відсутні після 12 тис. ударів. Формування поверхні зношування відбувалося, головним чином, за рахунок виносу шламу (рис. 9).

- Впадина 3 – після 8 тис. циклів рельєф поверхні згладжений, тріщин немає (рис. 10).

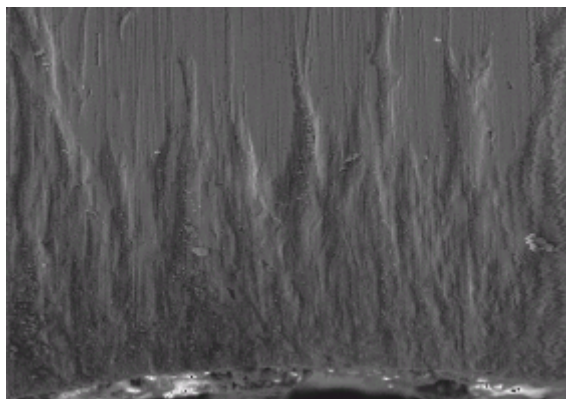


Рис. 8. Зразок 3 (впадина 1) після 12 тис. ударів *500

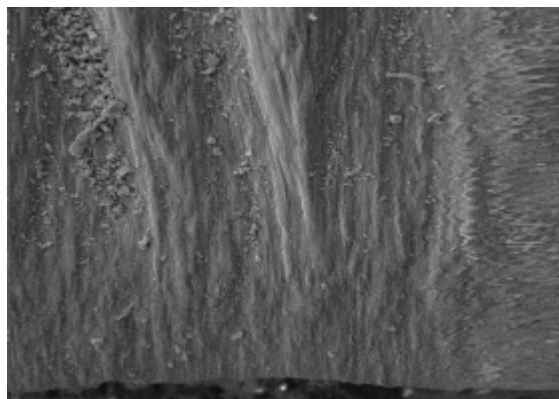


Рис. 9. Зразок 3 (впадина 2) після 12 тис. ударів *500

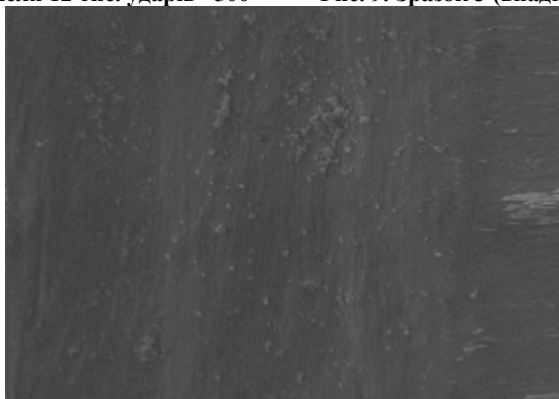


Рис. 10. Зразок 3 (впадина 3) після 8 тис. ударів *500

4) Зразок 4 – нижній ніж, виготовлений із сталі ШХ15 загартованої (HV 706...733) і зміцненої електроіскровим легуванням до HV 1080-1120. Ніж має три отвори для різання дроту:

- Отвір 1 – ріжучі кромки зміцнені електроіскровим легуванням, яке виконувалось в два прошарки (спочатку твёрдосплавним електродом ВК20, а потім – графітовим електродом). Середнє значення мікротвердості HV 1120. В процесі роботи ніж виконав 14 тис. штампоударів на цьому отворі. При збільшеннях 50-750 видно незначні тріщини. Проглядаються оплавлені «бульки»-вкраплення (рис. 11). Це є

результатом нанесення покриття електроіскровим методом та підвищення температури в поверхневих шарах при цьому. Представлений фазовий контраст – сталь (сірий колір), вольфрам та кобальт (світлий колір). Чим світліше зображення – тим важче метал через підвищений вміст вольфраму та кобальту (рис. 12).



Рис. 11. Зразок 4 (отвір 1) після 14 тис. ударів *750

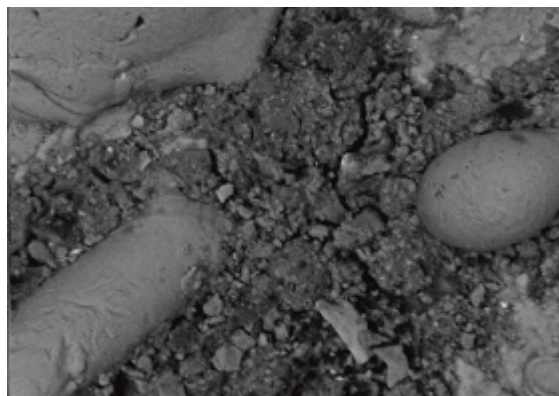
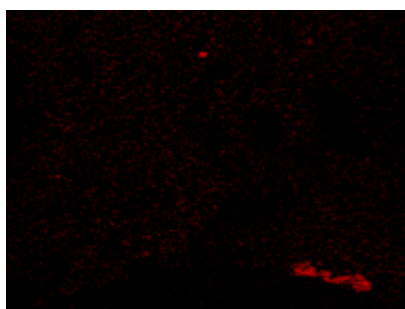
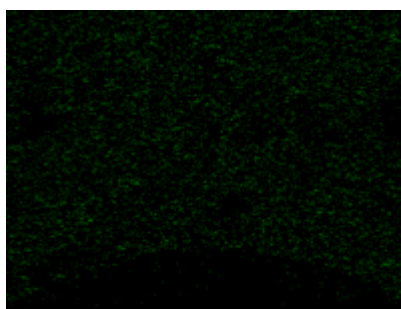


Рис. 12. Зразок 4 (отвір 1) після 14 тис. ударів – фазовий контраст *750

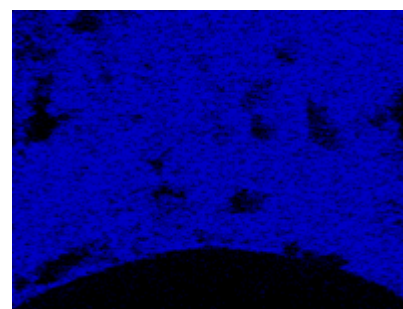
Становить інтерес розподіл основних елементів при збільшенні в 250 разів (рис. 13). Добре прослідковуються основні елементи та їх розподіл: вольфрам – червоний колір (рис. 13-а), хром – зелений (рис. 13-б), залізо – синій (рис. 13-в).



а) вольфрам



б) хром



в) залізо

Рис. 13. Розподіл основних елементів у зразку 4 (отвір 1) після 14 тис. ударів

- Отвори 2 та 3 – електроіскрове легування ріжучої кромки виконувалось твердосплавним електродом ВК20 за розробленою раніше технологією. Середнє значення мікротвердості HV 1080. В процесі роботи ніж виконав 20 тис. штампоударів на кожному з отворів. На отворі 2 при збільшенні не видно тріщин. На отворі 3 при збільшеннях 500 та 1000 присутні незначні тріщини. З рис. 14 видно, що тріщини відсутні, поверхня вигладжена, впадини та риски часто забиті шламом. З рис. 15 видно, що початковий рельєф досить грубий після ЕІЛ, зношення має пластичний характер, крихке руйнування не просліджується, тріщини практично відсутні (лише незначні).

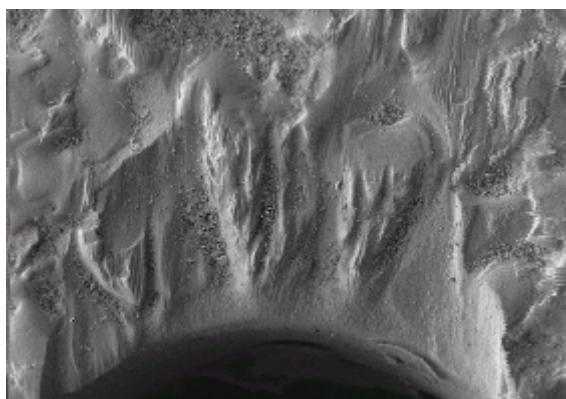


Рис. 14. Зразок 4 (отвір 2) після 20 тис. ударів *100

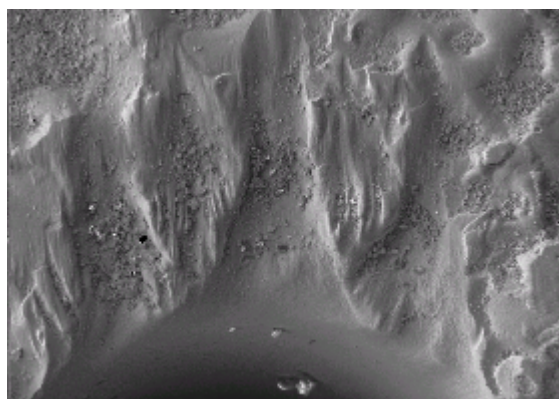


Рис. 15. Зразок 4 (отвір 3) після 20 тис. ударів *100

В процесі обробки фрактографій були досліджені геометричні параметри зони зношування всіх чотирьох 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. 16-17 показані результати вимірювань для зразка 1 (отвори 1 та 2).

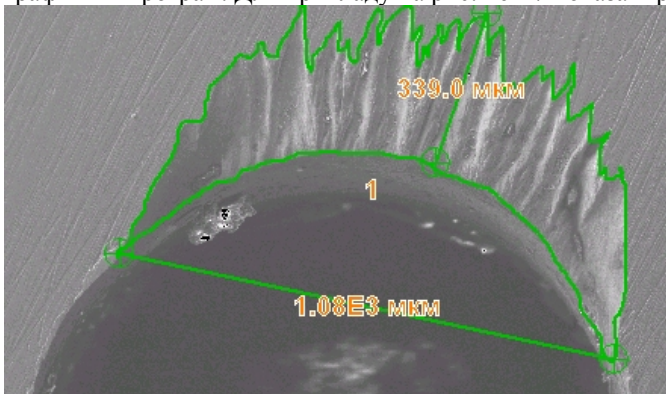


Рис. 16. Параметри зони зношування (висота та ширина) зразка 1 (отвір 1 після 16 тис. ударів) *40

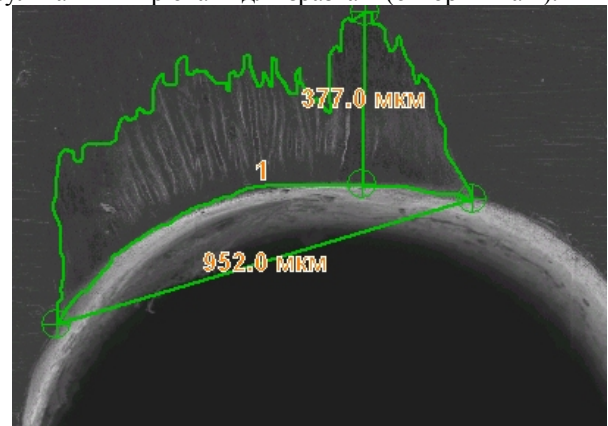


Рис. 17. Параметри зони зношування (висота та ширина) зразка 1 (отвір 2 після 18 тис. ударів) *40

Результати всіх вимірювань зведені до таблиці 1.

Таблиця 1

Результати обробки фрактографій (графічні параметри)

Зразок	Матеріал	Завусе нь, мм	Обробка	Зона зношування		
				Площа, мм ² (мкм ²)	Висота, мм	Ширина, мм
Зразок 1 отвір 1 (нижній)	ШХ 15 (16 тис. ударів)	0,12	нітрид хрому (HV 947)	0,2815 (281456,8)	0,339	1,08
Зразок 1 отвір 2 (нижній)	ШХ 15 (18 тис. ударів)	0,078	нітрид хрому (HV 947)	0,2387 (238709,7)	0,377	0,952
Зразок 1 отвір 3 (нижній)	ШХ 15 (20 тис. ударів)	0,09	нітрид хрому (HV 947)	0,1216 (121560,9)	0,165	1,12
Зразок 2 отвір 1 (нижній)	ШХ 15 (12 тис. ударів)	0,115	загартування (HV 706...733)	0,3121 (312060,4)	0,368	1,07
Зразок 3 впадина 1 (верхній)	ШХ 15 (12 тис. ударів)	0,115	загартування (HV 674...741)	0,1368 (136837,4)	0,198	1,05
Зразок 3 впадина 2 (верхній)	ШХ 15 (12 тис. ударів)	0,17	загартування (HV 674...741)	0,5347 (534656,4)	0,565	1,13 (1,34)
Зразок 3 впадина 3 (верхній)	ШХ 15 (8 тис. ударів)	0,23	загартування (HV 674...741)	0,908 (907960,8)	1,35	1,17 (1,53)
Зразок 4 отвір 1 (нижній)	ШХ 15 (14 тис. ударів)	0,09	(HV 706...733) + ЕІЛ (в два прошарки) = HV 1120	0,1181 (118078,1)	0,105	1,27 (1,07)
Зразок 4 отвір 2 (нижній)	ШХ 15 (20 тис. ударів)	0,125	(HV 706...733) + ЕІЛ (по розробленій технології) = HV 1080	0,3532 (353173,8)	0,494	0,974
Зразок 4 отвір 3 (нижній)	ШХ 15 (20 тис. ударів)	0,145	(HV 706...733) + ЕІЛ (по розробленій технології) = HV 1080	0,3981 (398064,5)	0,648	0,981

За результатами досліджень побудовані графічні залежності висоти (рис. 18) та площі (рис. 19) зони зношування від абсолютної величини завусеня.

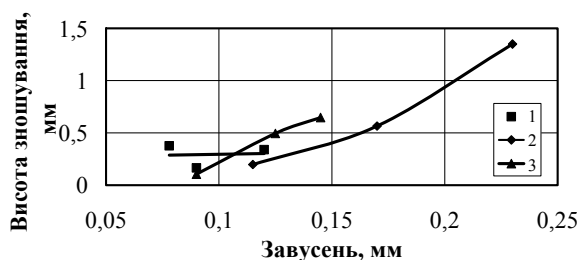


Рис. 18. Залежність висоти зони зношування (мм) від абсолютної величини завусеня

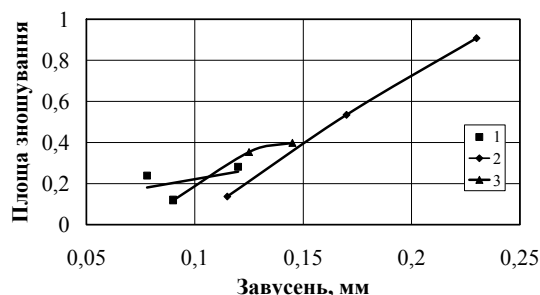


Рис. 19. Залежність площі зони зношування (мм²) від абсолютної величини завусеня

- 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

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.

Результати даних обчислень внесені до таблиці 2.

Таблиця 2

Результати обробки фрактографій (питомі параметри)

	Завусень, мм	Кількість ударів, тис.	Площа зони зношування, мм ²	Висота зони зношування, мм	Швидкість росту завусенням/ тис. ударів	Питома площа зони зношування, мм ² /тис. ударів	Питома висота зони зношування, мм/тис. ударів
Сталь ШХ 15 нижній HV 706...733, верхній HV 674...741	0,115	12	0,1368	0,198	0,0096	0,0114	0,0165
	0,17	12	0,5347	0,565	0,0142	0,0446	0,0471
	0,23	8	0,908	1,35	0,0288	0,1135	0,1688
	0,18	10					
середнє					0,0175	0,0565	0,0775
Сталь ШХ 15 з нітридом хрому нижній HV 947, верхній HV 883	0,09	20	0,1216	0,165	0,0045	0,0061	0,0083
	0,078	18	0,2387	0,377	0,0043	0,0133	0,0209
	0,12	16	0,2815	0,339	0,0075	0,0176	0,0212
середнє					0,0054	0,0123	0,0168
Сталь ШХ 15 з ЕІЛ HV 1080	0,125	20	0,3532	0,494	0,0063	0,0177	0,0247
	0,145	20	0,3981	0,648	0,0073	0,0199	0,0324
середнє					0,0068	0,0188	0,0286
Сталь ШХ 15 з ЕІЛ в два прошарки HV 1120	0,09	14	0,1181	0,105	0,0064	0,0084	0,0075

За результатами досліджень та розрахунків, зведених до таблиці 3, побудовані графічні залежності питомої висоти (рис. 20) та питомої площі (рис. 21) зони зношування від середнього значення твердості ножів [3-4].

Таблиця 3

Узагальнені результати обробки фрактографії

Твердість HV	Швидкість росту завусеня, мм/тис. ударів	Питома площа зони зношування, мм ² /тис. ударів	Питома висота зони зношування, мм/тис. ударів
720	0,0175	0,0565	0,0775
947	0,0054	0,0123	0,0168
1080	0,0068	0,0188	0,0286
1120	0,0064	0,0084	0,0075

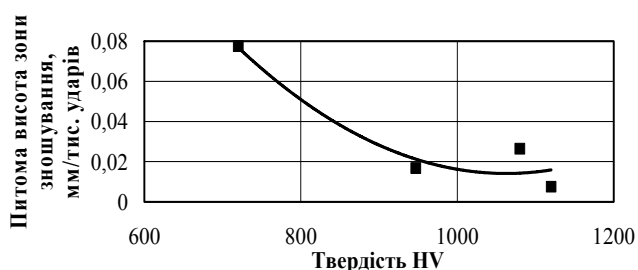


Рис. 20. Залежність питомої висоти зони зношування від твердості ножів

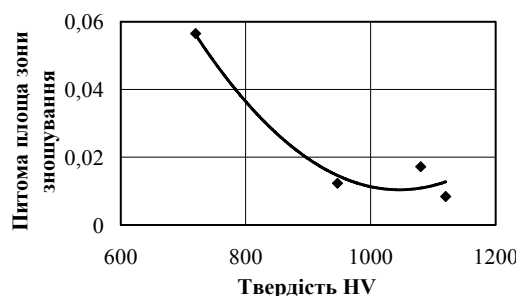


Рис. 21. Залежність питомої площі зони зношування від твердості ножів

Висновки

- 1) Для дослідження особливостей процесу зношування, описання механізмів зношування, визначення параметрів процесу зношування ефективними є фрактографічні дослідження ножів для різання дроту.
- 2) На основі проведених фрактографічних досліджень були визначені закономірності утворення зони зношування ріжучих кромки ножів для різання дроту.
- 3) Досліджені геометричні параметри зони зношування ножів: абсолютні розміри зони зношування (висота та ширина) в мм, а також площа зони зношування.
- 4) Отримані залежності висоти та площі зони зношування від абсолютної величини завусеня при різних видах зміцнюючої обробки ріжучих кромки ножів. Встановлено лінійну залежність площі зони зношування від величини завусеня як для зміцненого, так і для незміцненого матеріалу ріжучих кромки.
- 5) Отримані залежності питомої висоти та питомої площі зони зношування від середнього значення твердості ножів, ріжучі кромки яких зміцнені різними видами комбінованої обробки.

Анотація. Целью статьи является обобщение результатов фрактографических и рентгено-структурных исследований ножей для резки проволоки, которые изготовлены из разных материалов, поверхностно упрочнены разными способами и отработали определенное количество циклов. Резка проволоки диаметром 1 мм выполнялась в штампе-автомате, который имеет верхний подвижный и нижний неподвижный ножи. Для исследования особенностей процесса изнашивания, описания механизмов изнашивания, определения параметров процесса изнашивания были проведены фрактографические исследования ножей. Были исследованы образцы с разной упрочняющей поверхностной обработкой. Получены зависимости высоты и площади зоны изнашивания от абсолютной величины завусеня при разных видах упрочняющей обработки режущих кромок ножей. Получены зависимости удельной высоты и удельной площади зоны изнашивания от среднего значения твердости ножей, режущие кромки которых упрочнены разными видами комбинированной обработки. **Ключевые слова:** ножи, резка проволоки, режущие кромки, поверхностное упрочнение, завусеня, фрактографические исследования.

Abstract.

Purpose. For research of features of process of wear, description of mechanisms of wear, determination of parameters of process of wear it is important to undertake a fractography study of knives for cutting of wire. The aim of the article is generalization of results of fractography and x-ray photography structural researches of knives for cutting of wire, that is made from different materials, superficially fortified in number of different ways and worked the determined amount of cycles.

Design/methodology/approach. Cutting of wire diameter a 1 mm took place in a stamp-automat that has overhead movable and lower immobile knives. For research of features of process of wear, description of mechanisms of wear, determination of parameters of process of wear fractography studies of knives were undertaken. There were investigational standards with different strengthening superficial treatment.

Findings. The got dependences of height and area of zone of wear are on the absolute value of burr at the different types of strengthening treatment of cutting edges of knives. The got dependences of specific height and specific area of zone of wear are on the mean value of hardness of knives the cutting edges of that are fortified by the different types of the combined treatment.

Originality/value. Job performances it maybe to apply for research of features of process of wear, description of mechanisms of wear, determination of parameters of process of wear of cutting edges with different strengthening treatment.

Keywords: knives, cutting of wire, cutting edges, superficial strengthening, burr, fractography researches.

Бібліографічний список використаної літератури

1. *Маковей В.А.* Вплив поверхневого зміцнення на характер зношування ріжучих кромок/ *Маковей В.А., Бородій Ю.П.*// Вестник НТУУ КПІ. Машиностроение, вып. 50. К.: - 2007. - С. 111-117.
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 КПІ. Машиностроение, вып. 55. К.: - 2009. - С. 256-264.
3. *Бородій Ю.П.* Підвищення стійкості ріжучих елементів розділових штампів поверхневим зміцненням/ *Бородій Ю.П.*// Вісник НТУУ КПІ. Машинобудування, вип. 60. Київ. - 2010. - С. 60-63.
4. *Бородій Ю.П.* Підвищення стійкості розділових штампів комбінованим поверхневим зміцненням/ *Бородій Ю.П.* // : Дис. канд. наук: 05.03.05 - 2013.

References

1. *Makovei V.A., Borodiy Y.P.* Influence of the superficial strengthening is on character of wear of cutting edges. Journal of Mechanical Engineering of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", 2007, no 50, pp. 111-117.
2. *Makovei V.A., Borodiy Y.P., Kurikhin V.S.* Forming and research of the combined wearproof coverages on the cutting edges of stamps and on the details of machines. Journal of Mechanical Engineering of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", 2009, no 55, pp. 256-264.
3. *Borodiy Y.P.* Increase of firmness of cutting elements of dividing stamps to the superficial strengthening. Journal of Mechanical Engineering of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", 2010, no 60, pp. 60-63.
4. *Borodiy Y.P.* Increase of firmness of dividing stamps to the combined superficial strengthening: Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of engineering sciences after speciality 05.03.05. Kyiv. 2013.

Подана до редакції 17.05.2014