

УДК 637.(02)

¹О. І. Некоз, д-р техн. наук., проф.,

²О. В. Колісниченко, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.,

³Kondrat Z. Zdislav, д-р. техн. наук, проф.

⁴О. В. Батраченко

ІМПУЛЬСНО-ПЛАЗМОВЕ ЗМІЦНЕННЯ НОЖІВ М'ЯСОРІЗАЛЬНИХ ВОВЧКІВ

¹Національний університет харчових технологій, nekoz@nuft.edu.ua

²Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, okolis@i.ua

³Білостоцька політехніка, Польща

⁴Черкаський державний технологічний університет, batrachenko@rambler.ru

Досліджено вплив імпульсно-плазмового зміцнення різальних кромок ножів м'ясорізальних вовчків на підвищення їх довговічності.

Актуальність проблеми. Зважаючи на широке використання вовчків (промислових м'ясорубок) в м'ясопереробному виробництві, на значну вартість і недостатню довговічність їх ножів, а також на їх високу металоємність (леговані сталі) – і надалі залишається актуальним завданням підвищення їх довговічності. Відомі численні дослідження з вибору методу поверхневого зміцнення різальних кромок ножів вовчка, але вони мають обмеження щодо практичного використання, забезпечують недостатнє підвищення довговічності та потребують значних капіталовкладень або енерговитрат. Доцільним є пошук більш ефективного методу поверхневого зміцнення різальних кромок ножів вовчка.

Огляд попередніх досліджень. Дослідженню питань підвищення довговічності ножів вовчка присвячено значну кількість наукових праць. Так, згідно з працею [1] після хромування різального інструменту м'ясорізальних машин його зносостійкість підвищується у 2–5 разів. Але, на жаль, у цій праці не вказується, для якого саме інструменту використовувався цей метод. Зважаючи на істотну відмінність особливостей роботи ножів вовчка, ножів кутера, решіток вовчка та інших різальних інструментів, складно визначити доцільність та ефективність хромування саме для підвищення довговічності ножів вовчка, оскільки їх механізм зношування суттєво відрізняється від механізму зношування ножів кутера. Відомі результати досліджень [1], за якими після комбінованого оброблення лез ножів вовчка (цементації та дифузійного хромування) їх

зносоустійкість підвищувалась у 3,5–4 рази. Згідно з [2] хромування та однофазне борування ножів вовчка дозволяє підвищити їх зносоустійкість у 1,5 разу. Не зважаючи на переваги хіміко-термічного оброблення (простоту технічного оснащення), ці методи мають суттєві недоліки – великі витрати енергії та часу, особливо для комбінованого оброблення. Значне збільшення крихкості різальних кромок ножів, що в процесі подрібнення м'ясної сировини із твердими включеннями (скалками кістками, хрящами) призводить до викришування різальних кромок і, як наслідок, до зменшення довговічності інструменту.

Досліджувався [1] вплив кріогенного зміцнення на зносоустійкість різального інструменту. Було відзначено підвищення довговічності у 2–3 рази. Проте реалізація цього методу потребує складного технічного оснащення, яке має велику вартість. Позитивний ефект спостерігається не завжди, що перешкоджає широкому промислового використанню методу.

Іншим відомим методом є електроіскрове легування поверхневих шарів різальної кромки. Насичення матеріалу ножа легувальними елементами (W, Ti, Mo) дозволяє підвищити довговічність у 1,5–2 рази [1; 2]. Недоліками цього методу можна вважати недостатню його ефективність через відсутність комплексного впливу (термічного оброблення, поверхнево-пластичного деформування, легування).

Конструктивний метод підвищення довговічності ножів вовчка [2], який полягає у використанні ефекту вибіркового перенесення в парі тертя ніж–решітка завдяки використанню бронзових вставок, дозволяє підвищити довговічність ножів до 2,5 разу. Але потребує виробництва спеціальних конструкцій ножів, що обмежує їх практичне використання.

Відомі технології підвищення зносоустійкості деталей імпульсно-плазмовим обробленням [3; 4]. Імпульсна дія забезпечується завдяки використанню вибухових речовин (газу) та підсиленню детонаційних хвиль електромагнітним полем поміж симетрично розміщеними електродними вузлами. Також в процесі оброблення відбувається легування поверхні продуктами ерозії металевого електрода (молібден, вольфрам) та газу (пропан, азот). Внаслідок такої обробки зносоустійкість деталей машин підвищується у 3–5 разів.

Ця технологія має високі значення ефективності (як і в разі імпульсного лазерного зміцнення), продуктивності (0,5 м²/год), значно бі-

льший КПД нагріву (0,8 проти 0,05) та меншу в десятки разів вартість технологічного обладнання порівнянні із лазерним зміцненням.

Можна зробити висновок, що відомі методи підвищення довговічності ножів вовчка мають деякі недоліки, насамперед – це великі витрати енергії та часу. Перспективним є застосування імпульсно-плазмового зміцнення для підвищення довговічності ножів вовчка. Проте відома література не містить кількісних даних про підвищення зносостійкості ножів вовчка після імпульсно-плазмового оброблення.

Мета даної роботи – експериментальне визначення підвищення довговічності ножів вовчків шляхом зміцнення їх різальних кромки імпульсно-плазмовим обробленням.

Виклад основного матеріалу. Підвищення зносостійкості ножів вовчка визначали за такими етапами: зміцнення ножів; випробування ножів на вовчку з одночасним виконанням контрольних відбитків; визначення радіуса закруглення леза за допомогою оптичного мікроскопа та оброблення результатів досліджень.

Для експериментальних досліджень було обрано модель вовчка WS-180. Досліджували зносостійкість чотирилезових односторонніх ножів вовчка із прямим кутом заточування різальної кромки, виготовлених зі сталі 60С2, що піддавалися стандартному для таких ножів термічному обробленню.

Імпульсно-плазмові зміцнення проводили на установці «Імпульс» лабораторії Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України. Схему роботи установки показано на рис. 1, а, загальний вигляд генератора імпульсної плазми та поворотний стіл для встановлення оброблюваної деталі – на рис. 1, б, а загальний вигляд блока керування та блока підготовки газової суміші на рис. 1, в.

Плазмово-детонаційний генератор складається із детонаційної камери 1, де здійснюється формування горючої газової суміші та ініціювання її згоряння у детонаційному режимі; коаксіальних електродів 2 і 3; джерела живлення 4. У процесі прискорення плазмового утворення бере участь газодинамічна та електромагнітна сили [3; 4]. У результаті детонації частково іонізовані продукти згорання потрапляють з детонаційної камери в міжелектродний зазор 5 та змикають $R-L-C$ контур джерела живлення. Потім відбувається розряд конденсаторної батареї.

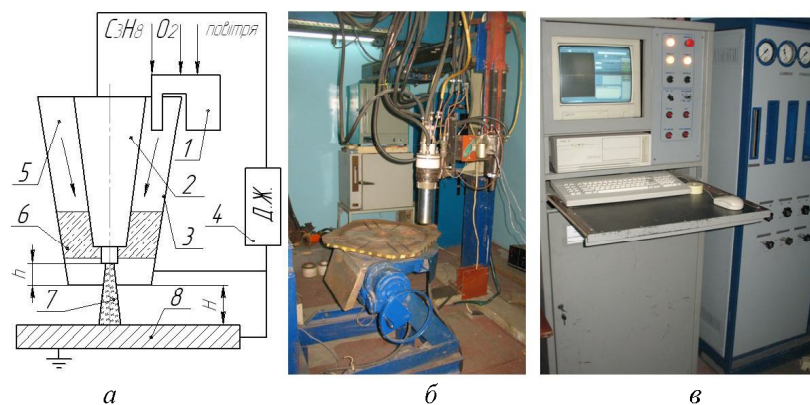


Рис. 1. Схема роботи та зовнішній вигляд установки «Імпульс» для імпульсно-плазмового оброблення

Поміж коаксіальними електродами 2 і 3 струм протікає по деякому провідному об'єму газу 6, ступінь іонізації якого збільшується. Під час протікання струму по плазмі виділяється джоулеве тепло, певна частка якого бере участь у процесі прискорення з розширенням нагрітого об'єму іонізованого газу, підсилюючи тим самим газодинамічну складову сили. Під час протікання в міжелектродному зазорі плазма спричинює ерозію електрода, що призводить до насичення плазми легуювальними елементами (W, Mo). Отриманий плазмовий струмінь 7 діє на оброблювану поверхню 8. При взаємодії плазмового імпульсу із поверхнею виробу електричне коло між центральним електродом і поверхнею виробу 8 замикається. А в зоні контакту утворюється ділянка ударно-стиснутого плазмового шару. Тепловий потік, що надходить на поверхню оброблюваного виробу, регулюється параметрами $R-L-C$ контуру джерела живлення, відстанню H та заглибленням електрода (рис. 1). Максимальний тепловий потік на поверхневих шарах спостерігається тоді, коли виріб є анодом, а мінімальний – коли виріб ізолюваний.

Імпульсно-плазмове оброблення дозволяє поєднувати комплексний циклічний (1–10 Гц) імпульсний ($t_{\text{імп}} = 0,2 \dots 0,6$ мс) вплив на поверхню твердого тіла: тепловий (до 10^6 Вт/см²), електромагнітний (густина струму до 10 кА/см², напруженість магнітного поля до $4 \cdot 10^5$ А/м) та пластичне деформування. Параметри плазми при цьому такі: швидкість плазмового потоку до 6 км/с; температура до 20000 К.

У результаті імпульсного плазмового оброблення відбувається швидке нагрівання (час нагрівання $10^{-3} \dots 10^{-4}$ с) поверхневого шару металу з наступним інтенсивним його охолодженням через відведення тепла в об'єм металу. Висока швидкість нагрівання та охолодження (до 10^7 K/c) сприяє фазовому наклепу, деформуванню поверхневого шару і, як наслідок, формуванню дрібнодисперсної кристалічної структури (так, наприклад, для вуглецевої сталі структура містить дисперсні голки мартенситу величиною $160 \dots 300$ нм), а також високої щільності дислокацій ($\rho \sim 10^{12}$ см $^{-2}$). Зміцнені шари мають товщину до 50 мкм. Можна також уводити в плазму різні легувальні елементи (C, N, W, Mo, Cr, Ti, V, Al та ін.) у вигляді парокропельної фази від металевого електрода (стрижня), закріпленого по осі центрального електрода.

Режими імпульсного плазмового загартування визначаються діаметром «плями гартування», енергією випромінювання, розподілом її по перетину струменя плазми, тривалістю імпульсу, кількістю імпульсів, теплофізичними властивостями сталі, станом оброблюваної поверхні.

Зміцнення ножів вовчка (рис. 2) проводили з використанням таких режимів оброблення: ємність конденсаторної батареї розрядного контуру $C = 800$ мкФ; напруга на обкладинках конденсаторної батареї $U = 3,2$ кВ; індуктивність розрядного контуру $L = 30$ мкФ; частота ініціювання імпульсів $\nu = 2,5$ Hz; матеріал електрода, – W. Тривалість імпульсу взаємодії становила близько 0,5 мс, а густина теплового потоку – $1,2 \cdot 10^5$ Вт/см 2 . Для забезпечення ефекту самозаточування зміцнення проводили з чотирикратним перекриттям по передній поверхні різальної кромки, яка в процесі експлуатації ножа не підлягає переточуванню.



Рис. 2. Ножі вовчка, що випробовувались: *а* – зовнішній вигляд ножа; *б* – порівняння затуплення різальної кромки 1 звичайного ножа та різальної кромки 2 зміцненого ножа після 10 год напрацювання

Використовували три режими оброблення: два імпульси в точку, деталь заземлена; чотири імпульси в точку, деталь заземлена; вісім імпульсів в точку, деталь заземлена.

Ножі випробували на виробничих площах м'ясопереробного підприємства ТОВ «Черкаська продовольча компанія». Подрібнювали м'ясну сировину для напівкопчених ковбас першого гатунку; використовували вовчок моделі WS-180 із частотою обертання ножів – 5 c^{-1} . На рис. 2, *а* показано ніж вовчка моделі WS-180, що працює у парі з решіткою зовнішнім діаметром 180 мм. Після зміцнення ножі встановлювали на вовчок і випробували їх в роботі до першого переточування протягом 10 год машинного часу. На рис. 2, *б* показано порівняння затуплення різальної кромки 1 та різальної кромки 2 відповідно звичайного та зміцненого ножів. Візуально видно, що різальна кромка 2, яка була зміцнена імпульсно-плазмовим обробленням, набагато менше затупилася.

Дійсну величину зношування визначали знаходження радіуса закруглення різальної кромки лез методом контрольних відбитків [2]. Для цього протягом часу роботи ножа через кожну годину знімали відбитки лез на свинцевих шайбах. Точку вимірювання обирали на середині робочої довжини леза. Використовували мікроскоп оптичний МБС-9, збільшення $\times 56$, ціна поділки шкали – 0,014 мм. Виконували по 5 замірів для кожного значення радіуса закруглення леза. Середньостатистична похибка вимірювань склала 7%. На рис. 3–5 показано зображення відбитків в окуляр мікроскопа МБС-9. Основні результати вимірювань подано на рис. 5.

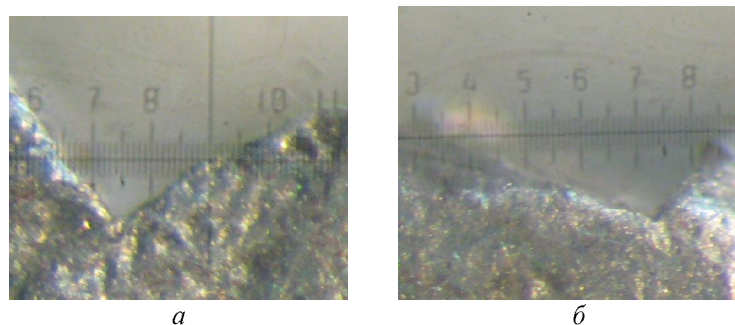


Рис. 3. Відбитки різальної кромки заточених звичайного (*а*) та зміцненого (*б*) ножів

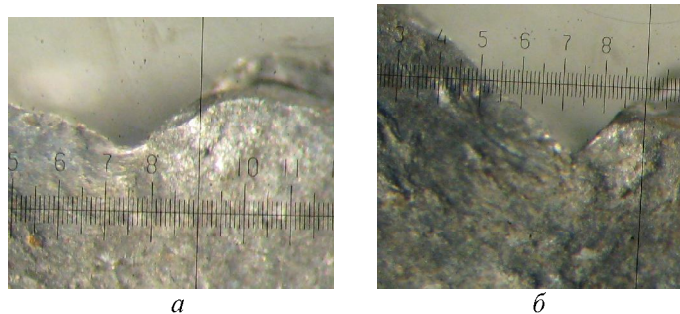


Рис. 4. Відбитки різальної кромки звичайного (а) та зміцненого (б) ножів після 10 год напрацювання

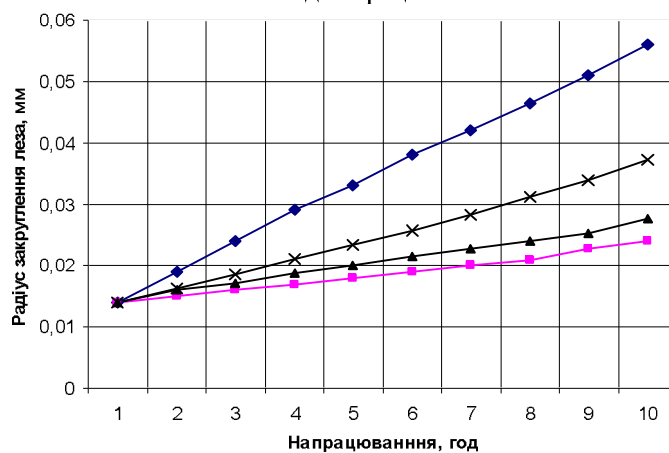


Рис. 5. Залежність величини зношування ножів залежно від наявності та режиму зміцнювального оброблення:

—◆— без зміцнення; —■— режим 3; —▲— режим 2; —×— режим 1

Були виміряні радіуси закруглення лез: заточеного ножа $\rho_{\text{зат}}$, мкм, звичайного ножа $\rho_{\text{зв}}$, мкм, та зміцненого ножа $\rho_{\text{зм}}$, мкм (радіус закруглення – це половина ширини закруглення вершини на свинцевому відбитку).

Після 10 год напрацювання радіус закруглення лез звичайного ножа становив 56 мкм, зміцненого у режимі 1,37 мкм, зміцненого у режимі 2,28 мкм, зміцненого на режимі 3,24 мкм. Величину зношування звичайного ножа визначали так: $N_{\text{зв}} = \rho_{\text{зв}} - \rho_{\text{зат}}$. Величина зношування зміцненого ножа визначали за виразом: $N_{\text{зм}} = \rho_{\text{зм}} - \rho_{\text{зат}}$.

Тоді підвищення довговічності зміцнених ножів відносно звичайних розраховували як $\Delta D = \frac{N_{зв}}{N_{зм}}$.

За результатами розрахунку встановлено, що імпульсно-плазмове оброблення ножів вовчка дозволила підвищити їх довговічність: ножів, зміцнених у режимі 1, – у 1,8 разу; ножів, зміцнених у режимі 2, – у 3,2 разу; ножів, зміцнених у режимі 3, – у 4 рази.

Висновки.

Експериментально досліджено вплив імпульсно-плазмового зміцнення на підвищення довговічності ножів м'ясорізальних вовчків. Установлено, що в разі оброблення заземленої деталі імпульсною плазмою з густиною теплового потоку близько $1,2 \cdot 10^5$ Вт/см² залежно від кількості імпульсів у точку (від 2 до 8) довговічність ножів підвищується від 1,8 до 4 разів. Таке підвищення зносостійкості ножів зумовлено комплексним зміцнювальним впливом імпульсно-плазмового оброблення (теплова, електромагнітна дія та пластичне деформування).

Підвищення довговічності ножів до 4 разів робить достатньо ефективним промислове використання імпульсно-плазмового оброблення.

Список літератури

1. Чижикова Т.В. Перспективы повышения эксплуатационной надежности режущих инструментов в мясной промышленности / Т.В.Чижикова. – М.: АгроНИИТЭИММП, 1987. – 43 с.
2. Некоз С.О. Підвищення ефективності роботи і довговічності різального комплексу м'ясорізальних вовчків: Дис. канд. техн. наук. – К. НУХТ, 2001. – 165 с.
3. Тюрин Ю.Н. Плазменные упрочняющие технологии / Ю.Н.Тюрин. – К.: Наукова думка, 2008. – 215 с.
4. Колісниченко О.В. Формування модифікованих шарів при плазмово-детонаційній обробці вуглецевих сталей: Дис. канд. техн. наук. – К.: Ін-т електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, 2003 – 154 с.

Ключові слова: м'ясорізальні вовчки, ножі, підвищення довговічності, імпульсно-плазмове зміцнення

Некоз О.И., Колисниченко О.В., Kondrat Z. Zdislav, A.B. Батраченко
Импульсно-плазмовое упрочнение ножей мясорезущих машин
// Проблемы тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ
«НАУ-друк», 2010. – Вип. 54. – С.172–180.

Проведены исследования влияния импульсно-плазмового упрочнения ножей волчков на повышение их долговечности. Установлено, что в зависимости от режимов упрочняющей обработки, достигается повышение долговечности от 1,8 до 4 раз.

Рис. 5, список лит.: 4 наим.

Nekoz O.I., Kolisnichenko O.V., Kondrat Z. Zdislav, Batrachenko O.V.
Creation wearproof coatings

Influence researches impuls-plazma hardenings of knives of meat-grinders on increase of their durability are carried out. It is established that depending on modes of strengthening processing, increase of durability from 1,8 to 4 times is reached.

Стаття надійшла до редакції 30.08.2010