

**Диха О.В.,****Динько О.П.**Хмельницький національний університет,  
м. Хмельницький, Україна  
E-mail: tribosenator@gmail.com**АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ  
ЗНОСОСТІЙКОСТІ ВИРУБНОГО  
ІНСТРУМЕНТУ**

УДК 621.891

Проаналізовані основні підходи до трибомеханіки процесу зношування вирубного інструменту на основі існуючих розрахунково-експериментальних методів оцінки сили і швидкості вирубки. Розглянуті конструктивні і технологічні способи підвищення зносостійкості різальної частини вирубного інструменту, визначені шляхи вибору оптимальних технологій.

**Ключові слова:** вирубка, зношування інструменту, підвищення зносостійкості

Вирубка відноситься до розділових операцій, що включають відрізок, вирубку, пробивку, надрізку, обрізку, зачистку, просічку та ін. Вирубка широко застосовується не тільки для обробки металів, але й виготовлення виробів з картону, паперу, тканини, шкіри, полімерів, деревини, а також в переробній і харчовій промисловості.

Схема вирубки передбачає циклічний силовий контакт гострого клину з жорсткою основою в поєднанні різання. Багаточисельні циклічні взаємодії під час експлуатації призводять до швидкого зносу і затуплення кромки клина, що є основною проблемою технології вирубки. Вирішення проблеми підвищення зносостійкості вирубного інструменту потребує дослідження трибомеханіки вирубки.

За попередній час розвитку технології вирубки встановлена значна кількість різного роду закономірностей процесу, на базі яких створені і працюють машини і преси по вирубці виробів з різних матеріалів.

Але існуючі уявлення про процес вирубки залишаються бути наближеними і, зокрема, не дозволяють прогнозувати кількісно знос різального інструменту та підвищувати його ресурс. У зв'язку з цим в даній роботі ставиться задача аналізу існуючих підходів до досліджень зносостійкості вирубного інструменту та окреслення проблем у цьому питанні.

При проектуванні машин по вирубці виробів головним вихідним параметром є необхідне зусилля пресування. Уже більш ніж півстоліття для визначення цього зусилля використовується експериментально встановлена залежність виду [2, 3]:

$$Q_n = QbK_R K_\gamma K_V,$$

де  $Q_n$  – повна сила вирубки;

$Q$  – питома сила вирубки, яка припадає на одиницю довжини  $b$  інструменту;

$K_R$  – коефіцієнт, що враховує затуплення леза клина;

$K_V$  – коефіцієнт, що враховує швидкість руху інструменту при вирубці;

$K_\gamma$  – коефіцієнт, що враховує кут заточки клина.

В роботі [1] запропоновано для опису механіки вирубки гострим клином використовувати метод експериментально-теоретичної рівноваги. Складність опису процесу вирубки виробів з таких матеріалів як шкіра, тканина, картон, папір і т.д. полягає в тому, що класична механіка твердого тіла, що деформується тут непридатна. Це матеріали, які сильно зміцнюються при великих деформаціях, з мінливими механічними властивостями, такими як модуль пружності  $E$  і коефіцієнт Пуассона  $\mu$ . По суті ці параметри перестають бути характеристиками матеріалів. Необхідна інша основа для опису деформацій матеріалів. В якості такої основи в цій роботі прийнята діаграма втискання або діаграма стискання деталей, що визначається з самого спочатку експериментально. В результаті в [1] отримані залежності для визначення функції контактних тисків і напруги в шарі в процесі вирубки, при наявності діаграми втискання. Наявність цих залежностей дозволяє оцінити міцність матеріалу шару при вирубці і наблизитися до опису механізму поділу матеріалу, зокрема оцінити вплив кута клина.

З експерименту [2] відомо, що коефіцієнт  $K_\gamma = 1,0 \dots 1,8$ . Тобто збільшення кута в 3 рази збільшує силу вирубки приблизно в 2 рази. За даними [2] коефіцієнт збільшення зусилля вирубки при затупленні найбільш значимий: при збільшенні затуплення від 0,1 до 0,5 мм коефіцієнт зростає в 3,5 рази.

Існує проблема механіки вирубки, пов'язана з проектуванням вирубних машин полягає у встановленні закономірності збільшення сили вирубки при збільшенні швидкості руху інструменту. Відомо з експериментів [2, 3], що ця залежність має вигляд  $K_V = 1 + K_{V1}V$ .

В роботі [4] встановлено, що при  $V = 1 \dots 4$  коефіцієнт динамічності знаходиться в діапазоні  $K_V = 1,46 \dots 1,95$ .

Науковий інтерес представляє питання про природу збільшення сили при збільшенні швидкості вирубки. Одна з можливих причин збільшення сил вирубки пояснюється законами деформування в'язко еластичних матеріалів. Ця механіка впливу розглядалася в роботі [5].

Очевидно, що залежність сили вирубки від швидкості носить суперечливий характер: з одного боку зі збільшенням швидкості сила різання повинна зменшуватися через полегшення процесу поділу, з іншого - будь-яка динаміка супроводжується збільшенням інерційних сил. Можна припустити, що основною причиною, що викликає збільшення сили при вирубці є зменшення часу вкладення в процес енергії для поділу шару. Якщо прийняти постійною потребу імпульсу сили  $Qt = \text{const}$ , то зі зменшенням часу циклу сила повинна зрости.

Далі проаналізовані існуючі підходи до забезпечення зносостійкості різальних елементів вирубного обладнання. В результаті аналізу технологічного устаткування розглядалися такі типи вирубного інструменту як:

- ножі вовчків, що використовуються у м'ясній промисловості для подрібнення сировини;
- ножі кутерів, що використовуються в кутерах для виготовлення фаршу;
- ножі бурякорізків, що використовуються при приготуванні цукру;
- ножі штампів для виробництва поліетиленових пакетів.

Всі ці ножі мають різну форму, виготовлені з різного матеріалу, але їх об'єднує одна проблема, це низька зносостійкість.

В результаті проведеного аналізу існуючих видів зміцнення вирубного інструменту різними способами було встановлено декілька варіантів. Одним із таких видів є підвищення зносостійкості ножів для зрізання цукрових буряків у стружку конструктивними та технологічними засобами. Як показали дослідження, окрім абразивного, механічного та корозійного зношення ножа має місце також кавітація, яка значно прискорює руйнування ріжучого леза ножа [6]. Але руйнівний вплив кавітації можна суттєво зменшити за рахунок вдосконалення геометрії заточування бурякорізальних ножів та зміцненням робочої частини ножів зносостійкими покриттями. В роботі Фабричної І.А. встановлено залежності між опором різання робочих поверхонь та кутами торцювання і загострення ножів, це дозволило при куті загострення ножа  $9 \dots 10^\circ$  та комбінованому зміцненні лазером з подальшою хіміко-термічною обробкою тугоплавкими металами із парів алюмохромофосфатного зв'язуючого або наддрібного порошку  $\text{SiO}_2$  для отримання зміцненої дрібнозернистої структури металу підвищити їх зносостійкість при зрізанні коренеплодів буряків в стружку та якість бурякової стружки [7].

Одним із широкоживаних методів є хіміко-термічна обробка різальних кромок ножів [8]. Так після одно- та двофазного борування було відмічено підвищення довговічності у 2,8 - 4,7 рази.

Іншим методом – азотуванням – було досягнуто підвищення довговічності у 1,7 разу, а хромуванням – у 2 - 3 рази. Ці методи мають суттєві недоліки, такі як великі витрати використаного часу та енергії, в результаті чого збільшується крихкість різальних кромок.

У відомих літературних джерелах наведено багато даних про надійність і довговічність ножів вовчка, але в них не має даних в яких можна було б порівняти величину зношування окремих лез ножа [9, 10].

Одним із дослідником даного напрямку є Полуян В.О. В його роботі досліджувалось використання для зміцнення робочих поверхонь хрестових ножів зносостійких матеріалів (сормайт, Р6М5, Р-18, Х6ВФ, ТН-20) і було встановлено, що лише у зразків зміцнених композицією ТН-20 були отримані найбільш стабільні показники (знос, коефіцієнт тертя, мікротвердість), і вона рекомендується для зміцнення ножів вовчків, оскільки володіє високими антикорозійними і зносостійкими властивостями [11].

В роботі Фоміна Р.Б. [12] встановлено, що жоден з відомих способів відновлення і виготовлення хрестових ножів промислових м'ясорубок не дозволяють отримувати ножі з високими показниками довговічності. З огляду на наявність запасу металу в тілі деталі і її високу технологічність, в якості базової прийнята технологія відновлення хрестових ножів обробкою тиском в штампі. В результаті чого встановлено оптимальний кут нахилу деформуючого пуансона штампа, рівний  $25^\circ$ . За результатами випробувань на зношування встановлено, що ресурс відновленого ножа перевершує ресурс серійного на 23 %, що дозволяє говорити про довший термін служби виробу [12].

Проводились дослідження впливу криогенного зміцнення на зносостійкість різального інструменту. Було відмічено підвищення довговічності до 2 разів [13]. Цей метод не знайшов свого широко застосування із за своєї великої вартості.

Іншим відомим методом є електроіскрове легування поверхневих шарів різальної кромки [9]. Електроіскрове легування супроводжується різними видами фізико-хімічних перетворень [10]. Основний ефект отримується через вірність вибору електричних параметрів режиму обробки, конструкції установ-

ки, легуючих матеріалів електродів та міжелектродного середовища, реакційної системи застосованих газів (легуючих – CO<sub>2</sub>, NC, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, повітря; несучих – H<sub>2</sub>, N, Ar). Електроіскрове легування дозволяє:

- значно підвищити зносостійкість і твердість металічних поверхонь деталей машин і технологічної оснастки з метою збільшення їх довговічності і заміни спеціальних сталей менш дефіцитними, або більш дешевими;

- змінити електричні властивості струмопровідних поверхонь, зменшити перехідні опори електричних контактів, їх зношення;

- збільшити шорсткість металічних поверхонь, наносити проміжні та перехідні шари для полегшення лужіння і процесу пайки, підвищити корозійну та вогнетривку стійкість, а також відновлювану властивість як деталей машин при ремонті, так і вимірних інструментів;

- отримувати омичні та випрямляючі контакти на напівпровідниках (нанесені покриття мають досконалість і міцний зв'язок з основним металом підкладки, оскільки супроводжується високо реакційними та дифузійними процесами).

Насичення матеріалу ножа легуючими елементами (W, Ti, Mo) дозволяє підвищити довговічність у 1,5 - 2 рази. До недоліків цього методу можна віднести недостатню його ефективність, що спричинено відсутністю комплексного впливу (термічної обробки, поверхнево-пластичного деформування, легування) [14].

Відомі методи підвищення зносостійкості різальних елементів шляхом використання плазмових струменів. Ефективність таких методів наближається до ефективності лазерної обробки, причому – при значно меншій вартості обладнання та енергоємності процесу. Однак використання плазмових генераторів безперервної дії не дозволяє отримати максимальні параметри зміцненого шару [15, 16]. Це обумовлено, насамперед, низькими (дозвуковими) швидкостями плазмового потоку. Відомі розроблені технології підвищення зносостійкості деталей плазмово-детонаційною обробкою [16, 17, 18]. Імпульсна дія забезпечується завдяки використанню вибухових речовин (газ) та посиленню детонаційних хвиль електромагнітним полем поміж симетрично розташованими електродними вузлами. Також в процесі обробки відбувається легування поверхні продуктами ерозії металевого електроду (молібден, вольфрам) та газу (пропан, азот). Внаслідок такої обробки зносостійкість деталей машин підвищується у 3 - 5 разів. Дана технологія володіє високою ефективністю (як при імпульсному лазерному зміцненні), високою продуктивністю (0,5 м<sup>2</sup>/год), значно більшим КПД нагріву (0,8 проти 0,05) та меншою у десятки разів вартістю технологічного обладнання у порівнянні із лазерним зміцненням. З огляду на це перспективним є застосування методу плазмово-детонаційного зміцнення для підвищення зносостійкості ножів кутерів. Проте в літературі відсутні кількісні дані про підвищення зносостійкості ножів кутерів після плазмово-детонаційної обробки [16].

Темпи росту виробництва, збільшення тривалості роботи устаткування, попиту на кінцевий продукт, диктують нові вимоги до якості вирубного обладнання. Робота в напрямку вдосконалення вирубного інструменту повинна бути продовжена на вимогу сьогодення.

В процесі подальших досліджень для ефективного вибору способів подовження ресурсу вирубного інструменту необхідна розробка розрахунково - експериментальних моделей трибодетонаційної механіки і зносостійкості, що дозволяють оцінити вплив визначальних факторів процесу вирубки на довговічність і надійність по зносу.

## Висновки

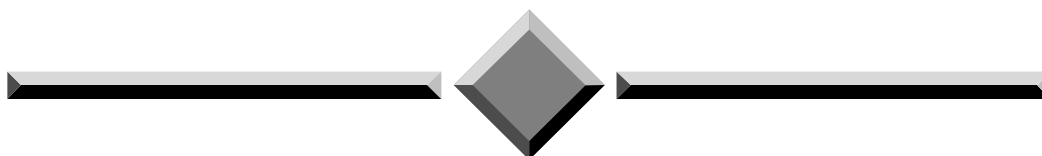
1. Існуючі уявлення про процес вирубки залишаються наближеними і не дозволяють прогнозувати кількісно знос різального інструменту та підвищувати його ресурс.

2. Для ефективного вибору способу подовження ресурсу вирубного інструменту необхідна розробка розрахунково-експериментальної моделі зносостійкості, що дозволяє оцінити вплив визначальних факторів процесу на трибодетонаційні параметри.

## Література

1. Кузьменко А.Г., Сторощук В.А. Механика вырубки. Часть 1. Острый клин // Проблемы трибологии. – 2003. – № 1. – С. 145-159.
2. Капустин И.И. Обувные машины. – М., 1949. – 308 с.
3. Капустин И.И. Резание и режущий инструмент в кожевенно-обувном производстве. – М., 1950. – С. 4-42.
4. Поліщук О.С., Кармаліта А.К. Визначення впливу швидкості вирубання на технологічні зусилля та якість ліній різання // Вісник технологічного університету Поділля. – 2001. – № 3. – С. 160-166.
5. Архипов Н.Н., Карпачев П.С., Майзель М.М., Плевако Н.А. Основы конструирования и расчетов типовых машин и аппаратов легкой промышленности. – М.: ГНТИМЛ, 1963. – 599 с.

6. Фабричнікова І.А. Зношення бурякорізальних ножів при зрізанні коренеплоду цукрового буряка [Текст] / І.А. Фабричнікова // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. – Вип. 21. – Том II. – Луцьк: ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2011. – С. 150-157.
7. Фабричнікова І.А., Коломієць В.В. Практичні рекомендації по збільшенню ресурсу бурякорізальних ножів [Текст] / І.А. Фабричнікова, Коломієць В.В. // Проблеми трибології. – 2015. – №3. – С. 122-126.
8. Чижикова Т.В., Мартынов Г.А. Перспективы повышения эксплуатационной надежности режущих инструментов в мясной промышленности. – М.: АгроНИИТЭИММП, 1987. – 43 с.
9. Илюхин В. В. Процессы изнашивания системы «нож – решетка» в волчках. / В. В. Илюхин // Мясные технологии. – 2011. – №2. – С. 36 - 38.
10. Некоз С. О. Підвищення ефективності роботи і довговічності різального комплексу м'ясорізальних вовчків : дис... кандидата техн. наук / С. О. Некоз – К. : УДУХТ, 2001. – 165 с.
11. Полуян В.А. Повышение долговечности ножей мясоизмельчительных машин / дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук/ Полуян В. А. – З.: Зерноград, 2006. –С. 7-10.
12. Фомина Р.Б. Технология восстановления крестовых ножей промышленных мясорубок давлением/ дис. на соиск. науч. степ. канд. техн. наук/ Фомин Р. Б.-С.: Саратов, 2001. – С. 110-113.
13. Некоз С.О. Підвищення ефективності роботи і довговічності різального комплексу м'ясорізальних вовчків: Дис. канд. техн. наук. – К. НУХТ, 2001. – 165 с.
14. Завойко О.С., Новицьков С.М. Механізація процесу електроіскрового легування із застосуванням реакційних властивостей газів. – Т.: Фізика і хімія твердого тіла №4, 2013. – 897-903 с.
15. Завойко О.С. Теоретичні основи електротехнології зміцнення металів. – Чернівці: Рута. – 2003 р.
16. Некоз О.І., Осипенко В.І., Батраченко О.В. Підвищення зносостійкості ножів кутера плазмово-детонаційним зміцненням. – О.: Наукові праці, 2009. – 172-174 с.
17. Тюрин Ю.Н., Жадкевич М.Л. Плазменные упрочняющие технологии. – К.: Наукова думка, 2008.– 215 с.
18. Колісниченко О.В. Формування модифікованих шарів при плазмово-детонаційній обробці вуглецевих сталей. Дисертація на здобуття вченого ступеня канд. техн. наук. – К.: Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, 2003 – 154 с.



**Проблеми трибології**  
**“Problems of Tribology”**  
**E-mail: tribosenator@gmail.com**

Поступила в редакцію 12.03.2016

Dykha O.V., Dynko O.P. **Analysis of the problem of increasing wear resistance of cutting tools.**

The basic approaches to tribo-mechanics of the process of wear of cutting tools on the basis of existing calculation-experimental methods of estimating the strength and speed of cutting. The constructive and technological methods of increasing the wear resistance of cutting part of cutting tool, defined way of choosing the optimal technology.

**Keywords:** cutting, tool wear, improvement of wear resistance.

**References**

1. Kuzmenko A.G., Storoshhuk V.A. Mehanika vyrubki. Chast 1. Ostryj klin , Problemy tribologii,2003,№ 1,P. 145-159.
2. Kapustin I.I. Obuvnye mashiny,M., 1949,308 p.
3. Kapustin I.I. Rezanie i rezhushhij instrument v kozhevenno-obuvnom proizvodstve,M., 1950,P. 4-42.
4. Polishhuk O.P., Karmalita A.K. Vznachennja vplivu shvidkosti virubannja na tehnologichni zu-sillja ta jakist liniï rizu , Visnik tehnologichnogo universitetu Podillja,2001,№ 3,P. 160-166.
5. Arhipov N.N., Karpachev P.P., Majzel M.M., Plevako N.A. Osnovy konstruivannja i raschetov tipovyh mashin i apparatov legkoj promyshlennosti,M.: GNTIML, 1963,599 p.
6. Fabrichnikova I.A. Znoshennja burjakorizalnih nozhiv pri zrizzanni koreneplodu cukrovogo burjaka [Tekst] , I.A. Fabrichnikova , Silskogospodarski mashini: Zb. nauk. st,Vip. 21,Tom II,Luck: red.-vid. viddil LNTU, 2011,P. 150-157.
7. Fabrichnikova I.A., Kolomec V.V. Praktichni rekomendacii po zbilshennju resursu burjakorizalnih nozhiv [Tekst] , I.A. Fabrichnikova, Kolomec V.V. , Problemi tribologii,2015. –№3,P. 122-126.
8. Chizhikova T.V., Martynov G.A. Perspektivy povysenija jekspluatacionnoj nadezhnosti re-zhushhij instrumentov v mjasnoj promyshlennosti. - M.: AgroNIITJeIMMP, 1987,43 p.
9. Iljuhin V. V. Processy iznashivannja sistemy «noz – reshetka» v volchkah. , V. V. Iljuhin., Mjasnye tehnologii,2011,№2,P. 36 – 38.
10. Nekož P. O. Pidvishhennja efektyvnosti roboti i dovgovichnosti rizal'nogo kompleksu mjasorizalnih vovchiv : dis... kandidata tehn. nauk. , P. O. Nekož – K. : UDUHT, 2001,165 p.
11. Polujan V.A. Povysenie dolgovechnosti nozhej mjasoizmelchitelnyh mashin , dip. na soisk. uch. stepeni kand. tehn. nauk, Polujan V. A,Z.: Zernograd, 2006. –P.7–10.
12. Fomina R.B. Tehnologija vosstanovlenija krestovyh nozhej promyshlennyh mjasorubok davleniem, dip. na soisk. nauch. step. kand. tehn. nauk, Fomin R. B.-P.: Saratov, 2001,P. 110-113.
13. Nekož P.O. Pidvishhennja efektyvnosti roboti i dovgovichnosti rizal'nogo kompleksu mjasorizalnih vovchiv: Dip. kand. tehn. nauk,K. NUHT, 2001,165 p.
14. Zavojko O.P., Novyikov P.M. Mehanizacija procesu elektroiskrovogo leguvannja iz zastosuvannjam reakcijnih vlastivostej gaziv,T.: Fizika i himija tverdogo tila №4, 2013,897-903 p.
15. Zavojko O.P. Teoretichni osnovi elektrotehnologii zmicennja metaliv. Ruta, Chernivci. 2003r.
16. Nekož O.I., Osipenko V.I., Batrachenko O.V. Pidvishhennja znosostijkosti nozhiv kutera plazmovo – detonacijnim zmicennjam. - Odeska nacionalna akademija harchovyh tehnologij.- O.: Naukovi pracj, 2009,172-174 p.
17. Tjurin Ju.N., Zhadkevich M.L. Plazmennyje uprochnjajushhie tehnologii,K.: Naukova dumka, 2008.– 215 p.
18. Kolisnichenko O.V. Formuvannja modifikovanih shariv pri plazmovo-detonacijnij obrobcj vuglecevyh stalej. Disertacija na zdobuttja vchenogo stupenja kand. tehn. nauk,Kiiv: Institut elektroz-varjuvannja im. E.O. Patona NAN Ukraïni, 2003 – 154 p.