

УДК 621.891:631.361.02

МЕТОДИКА РОЗРОБКИ КОМПЛЕКСНОГО СПОСОБУ ЗМІЦНЕННЯ ТОНКИХ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ НА ПРИКЛАДІ БУРЯКОРІЗАЛЬНИХ НОЖІВ

Фабричнікова І.А., к.т.н.,

Коломієць В.В., д.т.н.

*Харківський національний технічний університет сільського
господарства імені Петра Василенка*

Тел. (057) 732-54-33

Анотація – в цій роботі приведена методика розробки комплексних способів підвищення зносостійкості ножів із вуглецевої сталі для подрібнення цукрових буряків та порівняння їх характеристик на підставі результатів виробничих випробувань.

Ключові слова – зносостійкість, зміцнення, бурякорізальні ножі, лазерна обробка, твердість, термін експлуатації.

Постановка проблеми. Процес зрізання коренеплоду цукрового буряку в стружку відбувається при великих коливаннях динамічного навантаження на ножі бурякорізок, при активному кавітаційному, абразивному зносу та корозії в клітинному соку що містить органічні кислоти [1]. Тому дослідження нових способів зміцнення різальної частини ножів має важливе народногосподарське значення.

Аналіз останніх досліджень. Форма різальної частини ножа має складну, чітко визначену конфігурацію та товщину леза 0,6...0,8 мм. Швидкість зрізання бурякової стружки від 4 до 8,3 м/с. Відповідно, якість таких ножів визначається, перш за все, зносостійкістю, корозійною стійкістю, ударною в'язкістю та шорсткістю поверхонь робочої частини, чітким дотриманням конфігурації, гостротою різальної кромки, малою схильністю до заїдань та ін. Для підвищення цих показників існує декілька методів [2...4]. Підвищення зносостійкості і роботоздатності ножів пов'язано з поліпшенням якості металу, забезпеченням підвищеного опору його руйнуванню та підвищенням фізико-механічних властивостей поверхневого шару.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Мета роботи – показати методику розробки комбінованих способів підвищення зносостійкості різальної частини бурякорізальних ножів врахувавши переваги та недоліки існуючих способів зміцнення.

Основна частина. На сьогодні фрезеровані безреберні бурякорі-зальні ножі типу 1011В вітчизняного виробництва виготовляються з високовуглецевої інструментальної сталі марок У7, У7А, У8, У8А, згідно ОСТ 27-31-304-84. На машинобудівних заводах України при виробництві ножів широко використовують обробку їх робочих поверхонь струмом високої частоти (СВЧ) до 46...52 НRCэ.

Так, на Луганському виробничому підприємстві «Суперблок» ріжучі частини ножів загартовували на високочастотній установці та відпускали в камерній електричній печі, згідно до узгодженого технологічного процесу, до твердості 42...50 НRCэ (HV 412...542).

Загальновідоме поверхневе загартовування СВЧ високопродуктивне, швидке, легко автоматизується, підвищує механічні властивості ножа та має інші переваги, але допускає деформацію ріжучої частини ножа. Враховуючи складну конфігурацію ножа, цей недолік недопустимий, бо впливає на форму поперечного перерізу бурякової стружки та на відсоток браку.

Достатньо відомі способи підвищення зносостійкості різальних ножів із загартованих інструментальних сталей за рахунок застосування потужної лазерної обробки [5], особливо у випадках, коли загартовування іншими методами унеможливлене внаслідок складності конфігурації деталі і можливістю її значного короблення.

Перевагою такого способу підвищення стійкості є отримання ультра-дрібного зерна матеріалу інструмента. Недоліком – залишкові субмікрі тріщини на поверхні інструмента, які призводять до поступового підвищення швидкості зносу інструменту.

Відомі також способи підвищення стійкості різальних ножів із інструментальних сталей шляхом застосування хіміко-термічної їх обробки, плазмового напилення нітриду та карбонітриду титану [6].

Катодно-дугове осадження активно використовується для синтезу на поверхні різального інструменту твердих зносостійких і захисних покриттів, що значно подовжують термін його служби. За допомогою цієї технології може бути синтезований широкий спектр надтвердих і нанокмполитних покриттів, включаючи TiN, TiAlN, CrN, ZrN, AlCrTiN і TiAlSiN.

Дифузійне насичення тугоплавкими металами з парів – спосіб нанесення поверхневого шару з простих та складних оксидів алюмінію, хрому та ін. на вироби з металів [7], розроблений науковцями ХНАЗТ під керівництвом проф. Тимофєєвої Л.А. При цьому методі виникає ефект «заліковування» мікротріщин і дефектів, одержаних при заточуванні ножів абразивними і кубонітовими кругами, підвищуються тріботехнічні та механічні властивості робочих поверхонь, але зберігається основа будови крупнозернистих інструментальних сталей, що призводить до підвищення зносу, особливо для тонких де-

талей.

Враховуючи недоліки термообробки ножів вітчизняних виробників, ми розробили декілька варіантів комплексних способів підвищення зносостійкості безреберних ножів, намагаючись поєднати переваги різних видів покриттів, що зміцнюють.

Обробку робочої зони ножа пучком потужного лазера проводили в лабораторії ННІ Технічного сервісу ХНТУСГ на лазерній CO_2 установці постійної дії «Комета-2» із технологічним модулем ЛТК-3 «Клімат». Обробці підлягала саме різальна частина ножа (20...22 мм). Охолодження – у повітрі.

Покриття нітриду та карбонітриду титану на бурякорізальні ножі наносили в Харківському національному науковому центрі «Український фізико-технічний інститут». Нанесення TiN робили в спеціальних камерах термодифузійним методом в три етапи: 1) імпульсне очищення шляхом іонного бомбардування протягом 5 хвилин при постійному контролі температури, щоб не допустити нагріву до температури відпущення; 2) нанесення шару чистого титану Ti товщиною близько 0,3 мкм при від'ємному потенціалі -200 V протягом 5 хвилин; 3) дифундування титану і азоту в саму структуру металу.

Для формування TiCN на третьому етапі до азоту додавали пропан-бутанову суміш у співвідношенні 1:1, які подавалися дозовано через два окремих клапана. Спочатку подавався азот під тиском $2 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст., а потім пропан-бутанова суміш, і тиск доводився до $4 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. в межах технологічно допустимих параметрів.

Дифузійне насичення проводили в лабораторії Харківської національної академії залізничного транспорту. Для виключення короблення ножа насичення проводили спочатку при кімнатній температурі, зануренням у ванну з 5...8% водним розчином алюмохромофосфатного зв'язуючого, далі нагрів в електричній печі та витримка при температурі $100 \pm 20^\circ\text{C}$ протягом 10 хвилин з наступним охолодженням у повітрі до кімнатної температури.

Для участі в експерименті ми підготували сім груп ножів моделі 1011В: 1) базові ножі, зміцнені СВЧ; 2) альтернативна термообробка «Булат»; 3) лазерна обробка + плазмове напилення нітриду титану; 4) лазерна обробка + плазмове напилення карбонітриду титану + дифузійне насичення тугоплавкими металами із парів; 5) лазерна обробка + плазмове напилення нітриду титану + дифузійне насичення тугоплавкими металами із парів; 6) лазерна обробка + дифузійне насичення тугоплавкими металами із парів; 7) СВЧ + дифузійне насичення тугоплавкими металами із парів. Для дотримання умов чистоти експерименту всі дослідні групи ножів повинні працювати одночасно на одній відцентровій бурякорізці, при однакових технологічних режимах та якості бурякової сировини. Оскільки для формування якісного перері-

зу стружки необхідно мінімум три послідовно закріплених ножових рами, то на 24-рамній бурякорізці маємо сім груп ножів, відповідно до рис. 1. Для заточування ножів використовували сучасні станки-напівавтомати – вся лінія фірми «Корунд». Геометрія заточки всіх ножів була однаковою.

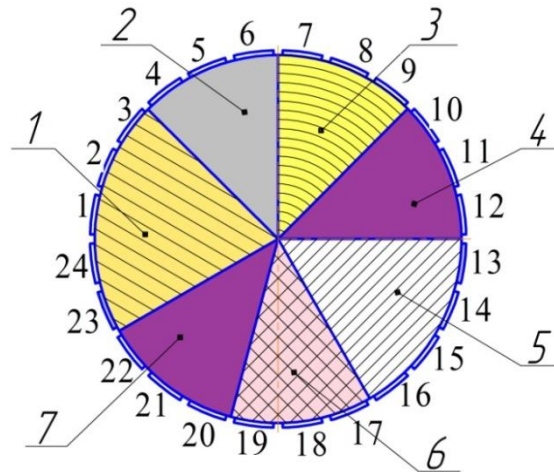


Рис. 1. Схема одночасної установки семи груп ножів

Контроль за якістю бурякової стружки проводився кожну годину за трьома основними параметрами, загально прийнятими на цукрових заводах: довжина 100г стружки в метрах, відсоток браку і шведський фактор. Тривалість експлуатації – це сумарна тривалість роботи бурякорізальних ножів між переточками при постійному контролю величини зносу. Результати наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльні характеристики видів покриття ножів

№№ групи ножів	Тривалість експлуатації, години	Величина зносу, мм (без сколу)	Швидкість зносу (сер.), мкм/год	Середні показники якості стружки		
				Довжина, м	% браку	Швед. фактор
1	52,5	1,54-2,25	29,27-42,9	9,42	4,06	23,09
2	78,8	1,93-2,43	21,98-30,82	9,39	3,84	22,66
3	77,75	2,18-2,6	28,04-33,38	9,79	3,80	22,66
4	52,25	1,0-4,26	19,23-81,57	9,27	3,96	25,18
5	74,8	1,18-2,35	15,79-31,42	9,47	4,21	24,36
6	79,75	1,16-1,56	14,63-19,63	9,50	3,77	27,80
7	78,75	1,04-1,62	13,17-20,55	9,80	4,03	25,81

Для більшої наочності результати експериментальних дослі-

джені представлені на рис. 2 для всіх дослідних груп ножів: 1 – з вакуумно-плазмовим покриттям TiCN + дифузійне насичення; 2 – із серійним методом зміцнення СВЧ; 3 – лазерна обробка + плазмове напилення TiN; 4 – альтернативна термообробка «Булат»; 5 – лазерна обробка + плазмове напилення TiN + дифузійне насичення; 6 – лазерна обробка + дифузійне насичення; 7 – дифузійне насичення тугоплавкими металами із парів.

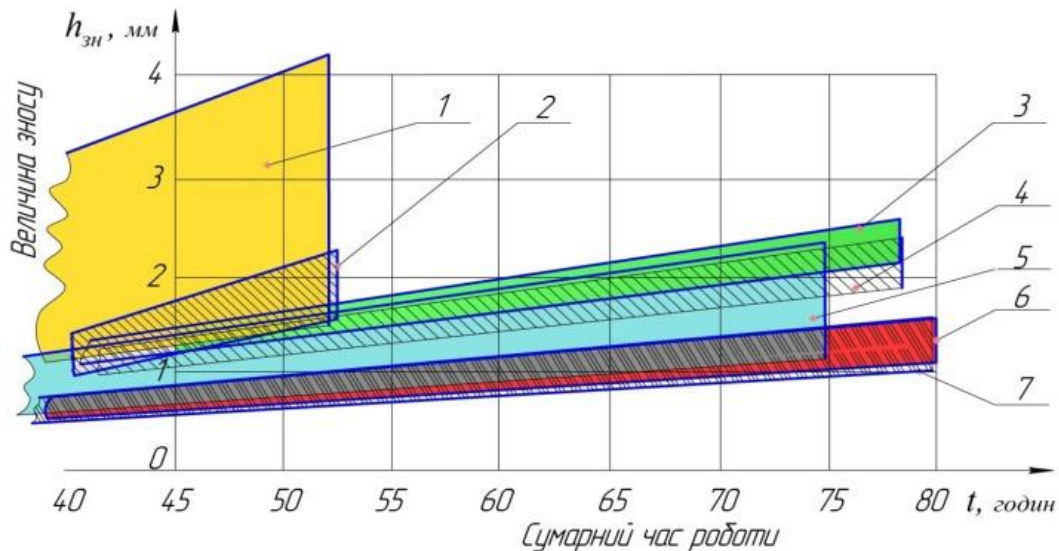


Рис. 2. Залежність лінійного зносу ножів від часу їх роботи

Звичайно ці залежності не носять такий прямолінійний характер, що обґрунтовано попередніми дослідженнями.

Таким чином, найбільш перспективним для подальших досліджень з метою вдосконалення і майбутнього практичного застосування є поєднання лазерної обробки з хіміко-термічною обробкою тугоплавкими металами із парів, що не пошкоджується під час переточок ножа. Запропоноване рішення прийнятне для промислового використання та захищене патентом [8], але у нього є суттєвий недолік – обробці підлягають усі поверхні.

В основу нового способу поставлена задача підвищення стійкості саме різальної частини бурякорізальних ножів за рахунок застосування комплексного способу підвищення їх стійкості, який об'єднує швидку лазерну обробку з одночасною хіміко-термічною обробкою матеріалами у вигляді наддрібного порошку.

В якості насичуючого середовища застосовують оксиди металів, що складають не менше 80% усіх вироблюваних нанопорошків. Найпоширеніші оксиди – кремнезему SiO_2 (40% від загального обсягу виробництва), титану TiO_2 (30%) і глинозему Al_2O_3 (21%) [9].

Попередні виробничі випробування бурякорізальних ножів, змі-

цнених з використанням наддрібного порошку SiO_2 , ферохрому (50% Fe та 50% Cr) і двох варіантів сумішей, проводились при щогодинному контролі якості стружки протягом восьми годин на 12-рамній відцентровій бурякорізці СЦ2Б-12 продуктивністю 1200 т/добу. За результатами експерименту найкращим виявився варіант з використанням наддрібного порошку SiO_2 . Далі експеримент проводили на 24-рамній відцентровій бурякорізці А2-ПРБ-24 (при потужності 120...125 т/год). Експериментальні дані порівняльних характеристик нового покриття ножів зведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Порівняльні характеристики нового покриття ножів

Вид покриття ножа	Тривалість експлуатації години	Величина зносу, мм	Швидкість зносу, мкм/год	Середні показники якості стружки		
				Довжина, м	% браку	Шведс. фактор
Базовий СВЧ	21,5	0,74-0,97	34,37-45	7,7	3,8	23,69
Лазер + SiO_2	21,0	0,14-0,35	14,17-16,6	7,9	3,1	27,11

Результати випробувань доводять перспективність запропонованого зносостійкого покриття, отримано патент на корисну модель [10]. Результати виробничих випробувань – параметри зносостійкості ножів для різних видів зміцнення та середні показники якості стружки – наведені в табл. 3, хоча одночасно ножі з цими варіантами зміцнення не випробовувалися.

Таблиця 3 – Порівняльні характеристики запатентованих методів зміцнення ножів

Вид зміцнення ножа	Швидкість зносу, мкм/год	Середні показники якості стружки		
		Довжина, м	% браку	Шведський фактор
Обробка СВЧ	29,27-42,9	9,42	4,06	23,09
Лазерне зміцнення + газодиф. насич.	14,63-19,63	9,50	3,77	27,80
Лазерне зміцнення + порошок SiO_2	14,17-16,6	7,9	3,1	27,11

Із даних табл. 3 та графіків на рис. 2 видно, що найменшу швидкість зносу та найкращі показники якості бурякової стружки мають ножі, зміцнені розробленими комбінованими методами.

Таким чином ми отримуємо матеріал з ультра-дрібним зерном, значно підвищеною ударною в'язкістю, зносостійкістю, та твердістю HRA 57...59 (HV 189...200). При цьому остаточна стійкість ножів підвищується до трьох разів, що дозволяє збільшити їх економію.

Висновки. Комбінований спосіб підвищення зносостійкості бурякорізальних ножів вирішує три важливих питання. По-перше, він значно підвищує зносостійкість і ресурс ножа, по-друге, він виключає короблення ножа, тобто забезпечує чітке дотримання конфігурації, по-третє, підвищує гостроту ріжучої кромки, покращує шорсткість поверхонь робочої частини ножа та зменшує схильність до заїдань, що покращує якість бурякової стружки.

Вдосконалений комплексний спосіб є більше ефективний з точки зору підвищення зносостійкості ножа і має меншу собівартість, що приведе до швидкої окупності його застосування при масовому виробництві і використанні ножів в цукровій промисловості України.

Таким чином, методика створення комбінованих способів підвищення зносостійкості різальних ножів дозволяє поєднати переваги та нейтралізувати недоліки існуючих способів зміцнення.

Література:

1. *Фабричнікова, І.А.* Теоретичне визначення впливу сил тертя на миттєві сили різання, які викликають зношення бурякорізальних ножів [Текст] / *І.А. Фабричнікова* // Проблеми трибології = Problems of Tribology. – Хмельницький, 2012. – № 3(65). – С.94-100.

2. *Фабричнікова, І.А.* Аналіз способів підвищення довговечності свеклорезних ножей [Текст] / *І. А. Фабричнікова* // Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв. Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків, 2005. - Вип. 38. – С.105-111.

3. *Черных Д.И.*Повышение износостойкости ножей для переработки сахарной свеклы в условиях гидроабразивного изнашивания [Текст] / *Д. И. Черных, Т.С. Скобло, А.А. Науменко*[и др.] //Materialy vi meznarodnoi vedecko-prakticka konference «Efektivni nastroje modernich ved – 2010». Di's 21.Technicke vedy. – Praha, 2010. – S.118-123.

4. *Фабричнікова, І.А.* Комплексний підхід до підвищення якості бурякорізальних ножів [Текст] / *І.А. Фабричнікова, В.В. Коломієць* // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. –Харків, 2005.–Вип. 41. – С.468-474.

5. *Коваленко, В.С.* Лазерні технології: завоювання нових позицій [Текст] / *В.С. Коваленко* // Вісн. НАН України. – 2000. – № 1. – С.11-22.

6. А.с. RU 2062817 С1 РФ, С 23 С 14/00, 14/26. Способ повышения износостойкости режущих инструментов [Текст] / *Г.В. Костин, А.М. Гордон, Э.Л. Федоров* (RU), *В.Д. Гречка, О.Ю. Данилов* [и др.] (UA). – № 5030949/10 ; заявлено 11.02.92 ; опубл. 27.06.96, Бюл. № 18. – 3 с.

7. Спосіб хіміко-термічної обробки деталей із металів та сплавів [Текст].Пат. 45841А Україна: В22F3 / *Тимофєєва Л.А.* [та ін.]; зая-

вник та патентовласник УкрДАЗТ. – № 2001075170; заявл. 19.07.2001; опубл. 15.04.2004, Бюл. № 4. – 4 с.

8. Комплексний спосіб підвищення зносостійкості бурякорізальних ножів [Текст]. Пат.42467 Україна : МПК С21D 1/09 (2006.01), С23С14/00 (2006.01) / *Фабричнікова І.А., Коломієць В.В., Тимофєєва Л.А., Лук'яненко В.М*; заявник НТУСГ ім. П. Василенка; u 2009 0076 ; заявл. 05.01.2009 ; опубл. 10.07.2009, Бюл. № 13. – 2 с.

9. *Лазарев, В.Б.* Химические и физические свойства простых оксидов металлов [Текст] / *В.Б. Лазарев, В.В. Соколов, И.С. Шаплыгин.* – М.: Наука, 1983. – 239 с.

10. Спосіб підвищення зносостійкості бурякорізальних ножів [Текст]. Пат.66679 UA Україна : МПК С21D 1/09(2006.01), С23С 14/00 / *Фабричнікова І.А., Скобло Т.С., Коломієць В.В., Мартиненко О.Д.* ; заявник ХНТУСГ ім. П. Василенка, u2011 08198 ; заявл. 30.06.2011; опубл. 10.01.2012, Бюл. № 1. – 3 с.

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ КОМПЛЕКСНОГО СПОСОБА УПРОЧНЕНИЯ ТОНКИХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ НА ПРИМЕРЕ СВЕКЛОРЕЗНЫХ НОЖЕЙ

Фабричнікова І.А., Коломієць В.В.

Аннотация – в данной работе приведены методика разработки комплексных способов повышения износостойкости ножей из углеродистой стали для измельчения сахарной свеклы и сравнение их характеристик на основании результатов производственных испытаний.

THE METHODOLOGY FOR DEVELOPING A COMPREHENSIVE METHOD OF HARDENING A THIN CUTTING TOOLS ON THE EXAMPLE BEET-CUTTING KNIFES

I. Fabrichnikova, V. Kolomiyets

Summary

This paper presents a methodology to develop integrated methods for increasing the wear resistance of carbon steel knives for grinding sugar beet and comparison of their characteristics on the basis of results of the field testing.