

УДК 620.178.1/637.513.4

В. Ю. СУХЕНКО

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЗНОСОСТІЙКИХ СТАЛЕЙ ДЛЯ РІЗАЛЬНИХ ВУЗЛІВ ШНЕКОВИХ М'ЯСОПОДРІБНЮВАЛЬНИХ МАШИН (ВОВЧКІВ)

Доведена доцільність застосування швидкоріжучих середньохромистих і високохромистих сталей для виготовлення м'ясоподрібнювальних інструментів за умови їх загострення кругами з ельбору

Ключові слова: м'ясо, подрібнення, сталь, заточка, зносостійкість

Вступ і постановка завдання. Машини для подрібнення м'яса і м'ясних продуктів (шнекові (вовчки), кутери, емульситатори, колоїдні млини) – складають близько половини всього діючого обладнання м'ясної промисловості. Зокрема вовчки – одні з основних машин м'ясопереробної індустрії [1; 2]. Якість отриманої продукції прямо залежить від того, наскільки якісно машина наріже м'ясо. Незадовільну роботу вовчка (пом'яте м'ясо, погано подрібнені жилки) не вдається виправити ні на кутері, ні на іншому подрібнювачі.

Принцип подрібнення кускового м'яса, що застосовується у вовчках, не змінюється протягом багатьох десятиліть: м'ясо з приймального бункера подається шнеком через корпус з внутрішніми ребрами до різального вузла, який складається з комплекту з двох або трьох нерухомих ґраток і рухомих ножів, що труться по ґратках. На якість подрібнення м'яса впливають незначні конструктивні особливості вовчків, але більше ступінь зносу різального комплекту і корпусу зі шнеком.

В роботі [3] нами було встановлено відсутність єдиної концепції, що обґрунтовує використання тих чи інших марок сталей для виготовлення м'ясоподрібнювальних ножів. Тільки на м'ясопереробних підприємствах м. Києва застосовують різальний інструмент з 11-ти марок сталей. За класами ці сталі можна розділити на групи: вуглецеві, низьколеговані, хромисті і швидкоріжучі. Тому для дослідження зносостійкості були вибрані зразки із сталей У10А, 9ХС, ХВГ, Х6ВФ, Х12Ф1, 55Х6В3СМФ, Х12М, Р6М5, Р18Ф2, які є представниками основних груп інструментальних сталей.

Важливо правильно вибрати сталі для виготовлення інструменту, яким при-таманна висока зносостійкість. Вона може бути різною не лише для різних сталей, але і для їх поєднання у парах «рухомий ніж – ґратка» при роботі у м'ясному середовищі, яке сприяє встановленню відповідних електродних потенціалів поверхонь тертя та провокує корозійно-механічне зношування інструментів [4].

Аналіз виконаних досліджень. Дослідженню зносостійкості різальних інструментів м'ясоподрібнювальних машин присвячено незчислена кількість робіт. Серед них треба особливо виділити роботи Чижикової Т. В. [1], Пелєєва А. І. [5], Клименка М. М. [6] та ін., якими започаткований науковий напрямок удосконалення конструкцій м'ясоподрібнювальних інструментів і підвищення їх зносостійкості.

В сучасних умовах стійкість різальних інструментів для подрібнення м'яса підвищують хіміко-термічною обробкою [7], електроіскровим легуванням [1], імпульсно-плазмовим азотуванням [8], обробкою лазером [9] та іншими методами. Важливими є також конструктивна досконалість і технологія виготовлення

різальних інструментів – термообробка, шліфування і заточка, від яких прямо залежить зносостійкість [10; 11].

Разом з тим, застосовувати раціональні конструкції різальних інструментів, сучасні методи зміцнення і технології виготовлення доцільно лише тоді, коли достеменно відомі триботехнічні характеристики, притаманні тим чи іншим сталям в процесі зношування у м'ясних середовищах.

Мета роботи – дослідити зносостійкість інструментальних сталей з різним ступенями легування і вибрати найбільш придатні для застосування в різальних вузлах шнекових м'ясопереробних машин.

Методика досліджень. Випробовувались на зношування зразки із вуглецевої (У10А), низьколегованих (ХВГ, 9ХС), середньо- і високо хромистих (Х6ВФ, 55Х6ВЗСМФ, Х12М, Х12Ф1) та швидкоріжучих (Р6М5, Р18Ф2) сталей у модельному розчині, що складався з м'ясного соку, відпресованого з одного зразка м'язової тканини телятини 2-ї категорії після завершення автолізу (рН5,5), жиру і води у співвідношенні 4 : 1 : 5 з додаванням 1 % кісткової фракції [12].

Тестування на зношування зразків з інструментальних сталей розміром $30 \times 15 \times 5$ мм (рис. 1) проводилось в лабораторних умовах за схемою «клин-диск» (рис. 2) на машині тертя М-22П конструкції ППМ НАН України [13].

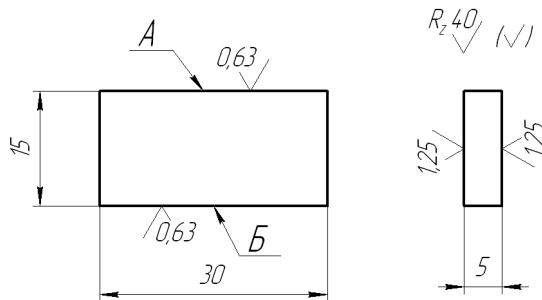


Рис. 1. Зразок для випробування на зносостійкість за схемою «клин-диск»

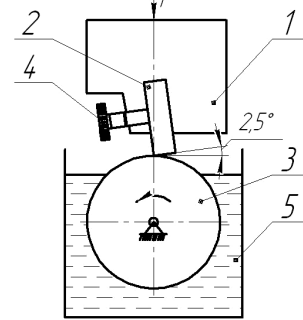


Рис. 2. Схема установки пари тертя «клин-диск»: 1 – змінний утримувач; 2 – зразок; 3 – контртіло; 4 – гвинт; 5 – камера з модельним розчином

Зразки кріпили в утримувачі таким чином, щоб робоча площина була нахилена до дотичної циліндричного диска під кутом $2,5^\circ$. Випробовування проводили при швидкості ковзання 2 м/с і навантаженні $P = 0,7$ кН. Такий режим наближено відтворює умови тертя інструментів у шнекових м'ясопереробних машинах (вовчак).

Перед випробовуванням зразки загострювали (шліфували) абразивними кругами. В лабораторії досліджували робочі поверхні лез на наявність зазублин на ріжучій крайці, припалень і вм'ятин (інструментальний мікроскоп МИМ-8), визначали радіус округлення леза (мікроскоп МИС-11 з приставкою РА-4). На мікротвердомірі ПМТ-3 оцінювали мікротвердість структурних складових сталей, а з використанням електронного мікроскопа УЕМВ-100 досліджували їх субмікроструктуру.

Результати досліджень. Для фінішної обробки тонких ножів і лез сталевих різців найчастіше використовують білий електрокорунд. В останні десятиліття стали більш широко використовувати круги з ельбору, який за твердістю близький до алмазу, але більш теплостійкий. Не конкуруючи з алмазом при обробці

твердих сплавів і крихких матеріалів, ельбор показав високу продуктивність при обробці вуглецевих та швидкоріжучих сталей [14; 15].

Для заточки ріжучих інструментів, яка забезпечує отримання шорсткості граней $R_a = 0,16 - 0,32$ мкм, найбільш часто використовуються круги з зернистістю: для електрокорундових кругів – 40; для алмазних – 60/63 і для ельборових – 10 [15]. Такі круги і були прийняті нами в експериментах.

Заточувались загартовані і шліфовані зразки перетином $30 \times 15 \times 5$ мм з метою раціонального вибору характеристик круга, оптимальних режимів заточки. В лабораторних дослідженнях зразків установлювались шорсткість граней, ріжучих лез, наявність зазублин, ум'ятин, заокруглення ріжучого леза, наявність припалень і тріщин на гранях.

Встановлено, що мінімальний радіус заокруглення утворюється при заточці алмазним кругом, максимальний – при заточці кругом із ельбору, а проміжне його значення – при заточці кругом з електрокорунду білого. Радіус заокруглення ріжучого леза залежить від кута загострення зразків. При куті загострення 50° він знаходиться в межах 1,5–3 мкм. Зі збільшенням кута загострення від 50 до 90° при заточці кругом з ельбору радіус заокруглення зростає в 2–3 рази. Збільшення глибини шліфування також призводить до його збільшення. При заточці периферією круга (верстат ЗГ711) радіус заокруглення більший, ніж при заточці торцем круга (верстат 3672). При збільшенні глибини шліфування від 0,01 до 0,03 мм /подв. хід радіус заокруглення зростає всього на 9...15 %. Для ножів з вуглецевих, низьколегованих і швидкоріжучих сталей він менший, ніж для ножів з середньохромистих і високохромистих сталей.

Зі збільшенням глибини шліфування шорсткість задніх граней R_a зростає. Мінімальне значення R_a було у зразків, які шліфовані алмазним кругом, дещо більше – у заточених білим електрокорундом і найбільше – у заточених кругом з ельбору. Поздовжня подача і схема шліфування майже не впливали на шорсткість ріжучих лез.

Відхилення від прямолінійності ріжучих лез в усіх випадках не перевищувало 0,005 мм. Найменші відхилення були отримані при заточці алмазними кругами через їх високу ріжучу здатність [15].

Аналіз впливу схеми шліфування і характеристик шліфувальних кругів на утворення ум'ятин і зазублин на лезах показав більшу імовірність їх утворення при обробці торцем круга і у випадку використання ельборових кругів і кругів з електрокорунду білого [14; 15].

Таким чином, використовуючи круги із синтетичного алмазу, непрямолінійність, шорсткість і радіус заокруглення ріжучого леза можна отримати мінімальними, але, досліді показали, що зразки, оброблені синтетичним алмазом і електрокорундом, мають на задній грані значні тріщини і припалення (рис. 3).

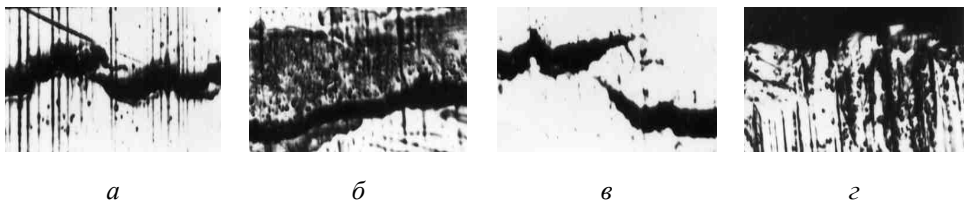


Рис. 3. Тріщини і припалення робочих граней при шліфуванні кругом АСР80/63 Б1 · 100% АПП 200×10×3×32 зразків із сталей: а – У10А, б – 9ХС, в – Х12Ф1, з – Р6М5, ×500

В результаті дослідження мікротвердості прилезових ділянок зразків за методикою, викладеною в [14], при обробці сталей електрокорундовим і алмазним кругами на режимах $V_{kp} = 35$ м/с; $S_n = 12$ м/хв, $t = 0,02$ мм/подв. хід встановлено, що в досліджених зразках можуть бути виділені такі зони: зовнішня – шар вторинного загартування з підвищеною мікротвердістю, прилегла до неї – шар вторинного відпуску з пониженою мікротвердістю і, потім, основний метал.

Поблизу ріжучого леза мікротвердість нестабільна через взаємовплив процесів вторинного загартування і відпуску. У ножів з вуглецевих і середньохромистих сталей зона зміненого («зіпсованого») матеріалу при заточці електрокорундовим і алмазним кругом поширюється на глибину 30–40 мкм, а при заточці ельборовим кругом – на глибину 20–30 мкм від ріжучої крайки. У ножів з середньохромистих, високохромистих і швидкоріжучих сталей зона вихідного матеріалу знаходиться на відстані 20–30 мкм від ріжучої крайки при їх заточці алмазними і електрокорундовими кругами і 5–15 мкм – при заточці кругами з ельбору (рис. 4). Таким чином заточка ельбором є більш перспективною.

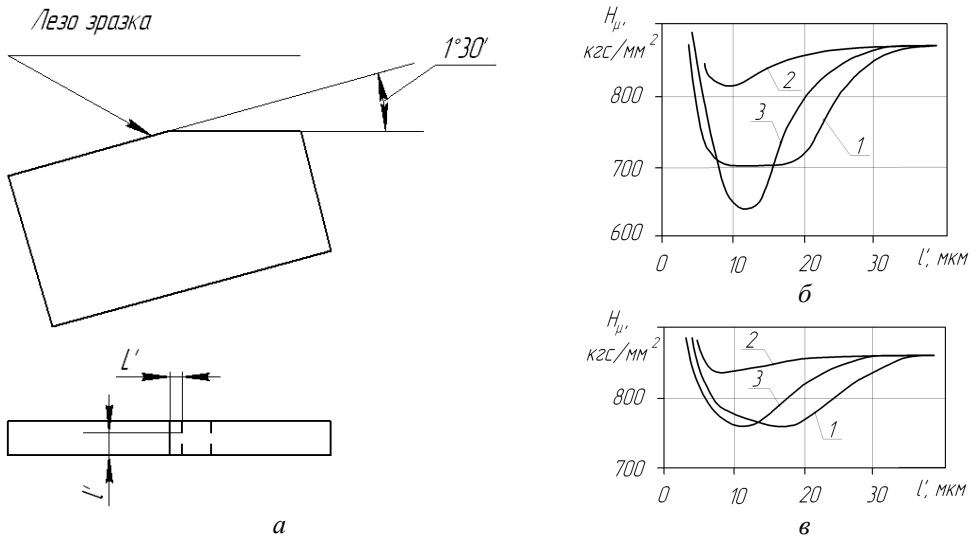


Рис. 4. Розташування площини шліфа і відбитків індентора (а) при вимірюванні мікротвердості ножів із сталі Р6М5 та характер зміни останньої при віддаленні від передньої грані ножа l і постійній відстані від задньої грані $L = 10$ мкм (б) та $L = 20$ мкм (в) при заостренні кругами: 1 – електрокорундовим, 2 – ельборовим, 3 – алмазним

Електронні мікрофотографії, виконані на мікроскопі УЕМВ-100 (рис. 5), дозволяють стверджувати, що в зоні вихідного матеріалу ножів із сталі ХВГ більша густина карбідів типу Fe_3C з твердістю 860...1250 HV, а також карбідів типу FeW_3C і $Cr_{23}C_6$ з твердістю 1000–1100 HV. В зоні вторинного загартування, через перехід карбідів у твердий розчин, їх щільність дещо зменшується, а твердість зростає. Підвищена щільність карбідів і недостатня їх твердість може призвести до низької стійкості ножів із сталі ХВГ. Менша щільність і величина карбідів у середньохромистих сталях (Х6ВФ і 55Х6В3СМФ), а також більш висока їх твердість можуть забезпечити вищу стійкість ріжучих інструментів.

З наведеного аналізу способів фінішної обробки ріжучих інструментів і використавши експериментальний матеріал можна зробити наступні висновки: 1) найбільш якісна заточка забезпечується периферією круга при застосуванні ельбору; 2) для заточки ножів із сталей У10А;ХВГ; 9ХС; Х6ВФ; 55Х6В3СМФ;

X12M; X12Ф1; P6M5; P18Ф2 треба використовувати режими $V_{kp} = 35$ м/с; $S_{нозд} = 12-16$ м/хв; $t = 0,01$ мм/подв. хід з наступним 2–3 – кратним виходжуванням і охолодженням 1,5–2 % емульсією з витратою 22–40 л/хв [15; 16].

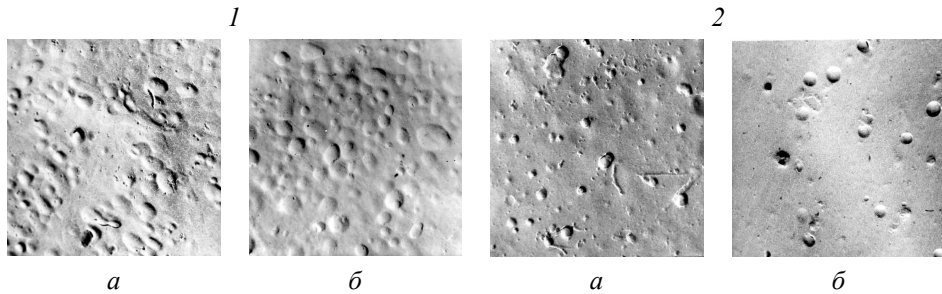


Рис. 5. Зона вихідного металу (а) і вторинного загартування (б) зразків із сталей ХВГ (1) і 55Х6В3СМФ (2) після шліфування кругом Л10Б156 100% ЛЧК 125×10×3×32, ×5000

Заточені ельбором на вибраних режимах зразки піддалися випробуванню на зношування у модельному м'ясному середовищі за схемою «клин-диск» (див. рис. 2). Раніше нами було доведено [16], що м'ясорізальні ножі виходять з ладу при їх спрацюванні до утворення фаски зносу 0,3 мм. З урахуванням того, що кут загострення зразків був $\delta = 90^\circ$, то така фаска виникала при лінійному зносі зразка у напрямку бісектриси кута загострення близько $A_\mu = 0,15$ мм. Тому, при такому лінійному спрацюванні випробування зразків на зносостійкість припинялись.

На гістограмі (рис. 6) показана стійкість зразків при терті з контртілами з різних сталей з номенклатури тих, що були вибрані для досліджень (пройдений шлях тертя до досягнення зносу $A_\mu = 0,15$ мм).

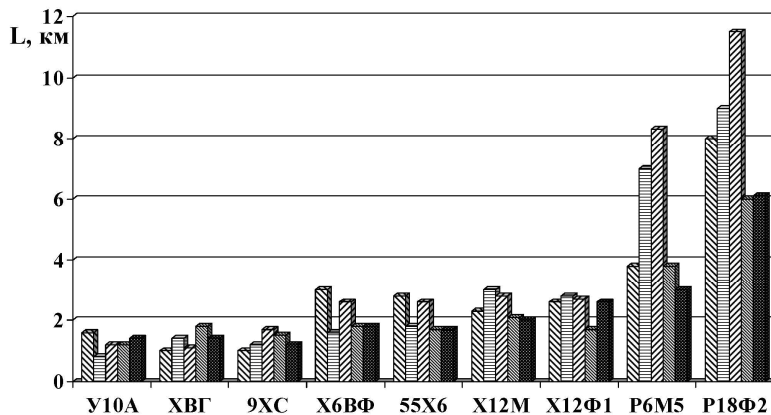


Рис. 6. Шлях, пройдений ріжучими крайками зразків з випробуваних сталей, до утворення фаски зносу $f = 0,3$ мм при терті в парі з контртілами із сталей:

▨ – ХВГ, ▤ – Х6ВФ, ▩ – 55Х6В3СМФ, ▣ – Р6М5, ▢ – Р18Ф2

Випробовувані сталі для м'ясорізальних інструментів у порядку зростання зносостійкості можна поділити на три групи: 1) низької зносостійкості – вуглецеві та малолеговані; 2) середньої зносостійкості – середньо- та високохромисті, зносостійкість яких в 1,5–2 рази вища від зносостійкості сталей першої групи; 3) високої зносостійкості – швидкоріжучі, зносостійкість яких в 5–10 разів вища за зносостійкість сталей першої групи.

Результати лабораторних випробувань були перевірені у виробничих умовах Київського експериментального м'ясопереробного заводу «Дарницький» на вихідних різальних інструментах шнекових м'ясоподрібнювальних машин (вовчків) типу МП-160 (рис. 7).

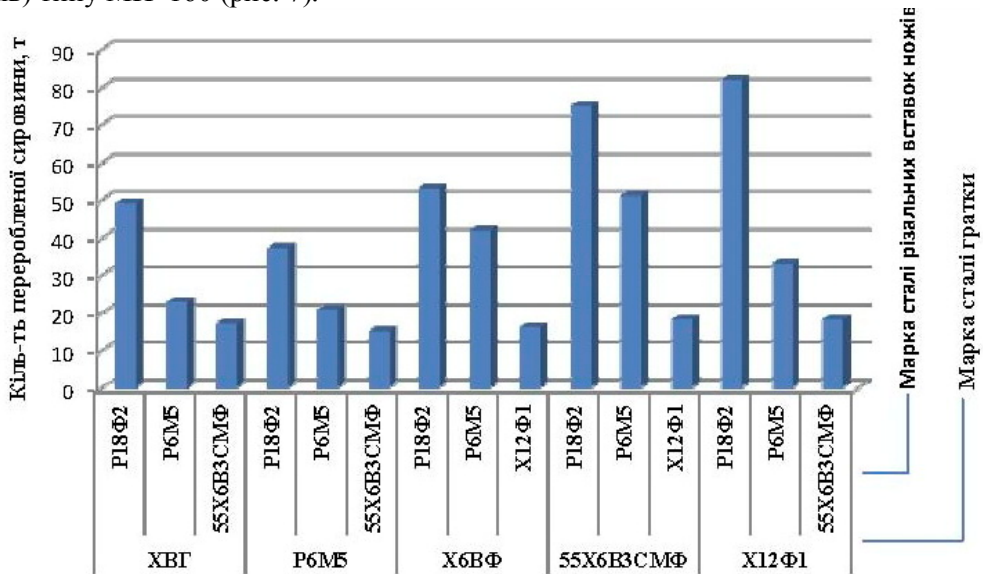


Рис. 7. Результати випробувань на зношування різальних комплектів шнекових м'ясоподрібнювальних машин (вовчків) при подрібненні дефростованої яловичини першої і другої категорії

Випробовування показали досить задовільну кореляцію з результатами лабораторного тестування сталей. Очевидно, що найбільшу зносостійкість мають рухомі ножі з швидкоріжучих сталей при їх застосуванні у парі з ґратками з сталей 55Х6В3СМФ та X12Ф1, які можуть подрібнювати від 50 до 80 т яловичини.

Висновки:

1. Найбільш перспективними для виготовлення інструментів шнекових подрібнювальних машин є швидкоріжучі, а також середньо- і високохромисті сталі.
2. Малолеговані сталі через карбідну неоднорідність мікроструктури не забезпечують високої стійкості м'ясорізальних інструментів.
3. Найвищої зносостійкості подрібнювальних інструментів можна досягти поєднуючи середнє і високе легування сталей з раціональними режимами загострювання ножів кругами з кубічного нітриду бору.

Список літератури

1. Чижикова Т. В. Перспективи підвищення експлуатаційної надійності режущих інструментів в м'ясній промисловості [Текст] / Т. В. Чижикова – М.:–1987. – 180 с.
2. Кузьмин В. В. Совершенствование процесса резания мясного сырья на основе математического моделирования формы режущих инструментов [Текст] / Дис...канд. техн. наук: 05.18.12 С-Петербург, 2008. – 129 с.
3. Сухенко В. Ю. Обґрунтування основ забезпечення зносостійкості м'ясорізальних інструментів [Текст] / В.Ю. Сухенко // Проблеми тертя та зношування: наук. техн. зб. – К.: НАУ, 2012. – Вип. 57. – С. 76-92.
4. Сухенко В. Ю. Прогнозування впливу терміну автолізу м'яса на процеси руйнування деталей подрібнювальних машин [Текст] / В.Ю. Сухенко // Проблеми тертя та зношування: наук. техн. зб. – К.: НАУ, 2013. – Вип. 59. – С. 55-64.

5. Пелеев А. И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности [Текст] / А.И. Пелеев. – М.: Пищевая промышленность, 1971. – 537 с.
6. Клименко М. Н. Развитие теории процесса резания мяса и совершенствование машин для измельчения сырья в производстве колбасных изделий: Автореф. дис...докт. техн. наук [Текст] / М.Н. Клименко. – М.: МИПБТ, 1990. – 49 с.
7. Некоз С. О. Підвищення ефективності роботи і довговічності різального комплексу м'ясорізальних вовчків: дис...канд. техн. наук [Текст] / С.О. Некоз – К.: УДУХТ, 2001. – 165 с.
8. Стечишин М. С. Підвищення зносостійкості ріжучого леза кутера [Текст] / М.С. Стечишин, М.В. Лук'янюк // Проблеми трибології. – 2005. – № 5. – С. 121–123.
9. Григорьянц А. Г. Основы лазерной обработки материалов [Текст] / А.Г. Григорьянц. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.
10. Казаков Н. Ф. Технология пищевого машиностроения [Текст] / Н.Ф. Казаков, Г.А. Мартынов. – М.: Машиностроение, 1982. – 296 с.
11. Некоз О. І. Розробка методів проектування кутерів з підвищеною ефективністю роботи [Текст] / О.І. Некоз, В.І. Осипенко, О.В. Батраченко // Обладнання та технології харчових виробництв. –Зб. наук. праць. – Донецьк, ДонНУЕТ ім. М. Туган-Барановського. – 2010. – № 1. – С. 28–37.
12. Горлач Р. В. Оптимизация состава и технологии производства сталей мясоизмельчительных комплексов [Текст] : Автореф. дис...докт. техн. наук: 05.02.01 / Р. В. Горлач. – СПб., 2003. –16 с.
13. Голубець В. М. Захисні властивості і зносостійкість вакуумних іонно-плазмових покриттів [Текст] / В.М. Голубець, О.Б. Гасій, Я.В. Щуйко – Львів: Логос, 2008. – 104 с.
14. Сухенко Ю. Г. Исследование процесса резания тонколистовых оберточных материалов в заверточных автоматах: Автореф. дис. ...канд. техн. наук.[Текст] / Ю.Г. Сухенко. – К.: КТІХП, 1981. – 24 с.
15. Абрамов Ю. А. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / ред. Дальский А. М. – 5-е изд., перераб. и доп., Т.2 – М. : Машиностроение, 2001. – 496 с.
16. Сухенко Ю. Г. Забезпечення довговічності м'ясорізальних вовчків переробних підприємств [Текст] / Ю.Г. Сухенко, В.Ю. Сухенко, В.В. Доценко // Науковий вісник НУБіП України – К.: НУБіП України. 2010. – Вип. 144, ч.2. – С.150–160.

Стаття надійшла до редакції 04.06.2013

V. J. SUKHENKO

RATIONALE WEAR-RESISTANT STEEL FOR CUTTING SCREW UNITS MEAT SHREDDING MACHINE

The expediency of the use of high-speed, high-chromium steels and average chromium for making meat grinding instruments subject to CBN grinding.

Investigated wear typical representatives carbon containing steels, medium alloyed chromium, high-chromium steels and high speed in the modeling of beef juice solution, fat, water and bone tissue. It is shown that the honing tool of the tested steels to produce boron nitride circles because electro corundum and diamond wheels to provoke cracking tools, eliminating the achievement of high performance.

Key words: meat, grinding, steel, sharpening, wear

Сухенко Владислав Юрійович – канд. техн. наук, доцент кафедри процесів і обладнання переробки продукції АПК Національного університету біоресурсів і природокористування України, suhenko@ukr.net.