

УДК 637.185

О. Закалов, канд. техн. наук; А. Бортник*Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя*

УНІВЕРСАЛЬНИЙ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИЙ НІЖ ДЛЯ КУТЕРІВ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ

Проведено аналіз впливу геометричних параметрів кутерних ножів на якість подрібнення сировини та споживання електроенергії під час кутерування. На основі аналізу роботи ріжучих робочих органів запропоновано нову конструкцію універсальних ножів з метою зменшення матеріаломісткості, енергоспоживання та нагрівання фаршу при подрібненні м'ясопродуктів у кутерах періодичної дії.

Одним з найбільш розповсюджених і енергоємних процесів у ковбасному виробництві є подрібнення м'яса. Для цього найчастіше застосовують кутери періодичної дії. М'ясо в кутерах подрібнюється за допомогою швидкохідних серпоподібних і прямих ножів, що встановлюються комплектно на одному, двох або чотирьох ножових валах.

Під час обробки в кутері необхідно подрібнити продукт до заданого ступеня, зберігаючи його харчову і біологічну цінність і якість, при мінімальних втратах і енергоспоживанні [1].

Сировина, що піддається обробці в кутері, при виробництві безструктурних варених ковбас, сосисок, сардельок у початковий момент може бути однорідною чи неоднорідною, ізотропною чи анізотропною, містити у своєму складі більш міцні включення, ніж основна маса, тобто володіти різними фізико-механічними властивостями.

Недоліками проведення процесу подрібнення у кутерах є періодичність дії обладнання, висока енергоємність процесу при невисокій продуктивності машини. Однією з проблем є нагрівання фаршу при обробці внаслідок виникнення сил тертя між ножами і сировиною, що дуже негативно відбивається на якості продукту.

З метою часткового зменшення енергоспоживання та нагрівання фаршу у процесі подрібнення м'яса у кутерах запропоновано нову конструкцію ножа.

Основними параметрами, які впливають на якість процесу подрібнення, а також на затрати потужності, є геометричні параметри ножів.

Ножі для різання продуктів у промисловості застосовуються з лезами різної форми і загалом є клинами, в яких розрізняються геометричні елементи, показані на рис. 1.

Застосовуються також ножі із двостороннім загостренням, обидві грані яких є робочі. Тоді вони розглядаються як два односторонніх ножі, що складені опорними гранями.

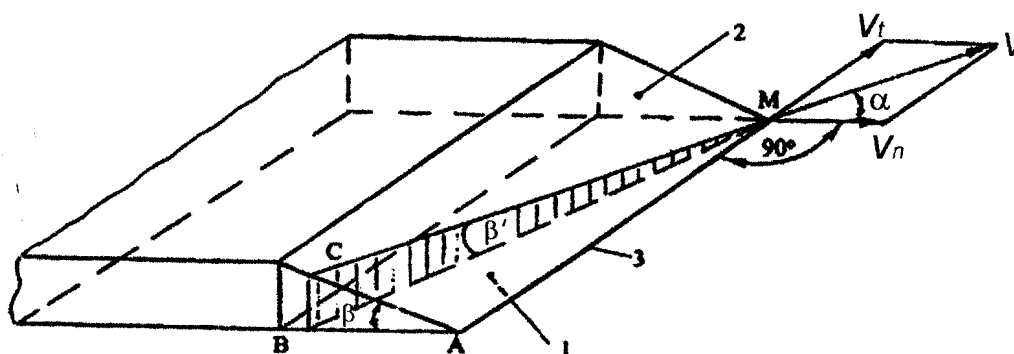


Рис.1. Геометричні параметри ножа:
1 – опорна грань; 2 – робоча грань; 3 – лезо ножа.

Основними геометричними параметрами, що характеризують процес різання є: β – кут загострення леза ножа; δ – задній кут; γ – передній кут; $\delta + \beta$ – кут різання; α – кут ковзання леза; β' – кінематичний кут різання.

Важливим для здійснення технологічного процесу подрібнення м'яса для варених ковбас є кут загострення леза ножа β , адже загострити його потрібно так, щоб, з одного боку, забезпечити якісне різання, з іншого – стійкість ножа в процесі роботи.

Оптимальний час між переточуваннями ножа складає 8 годин безупинної роботи кутера. Максимальну стійкість ножа, при якісному подрібненні м'ясної сировини, забезпечує його кут заточення $\beta = 27-30^\circ$ [2]. Збільшення цього кута ($\beta > 30^\circ$) знижує якість подрібнення і різко збільшує швидкість нагрівання фаршу, через те що різко підвищується лобовий опір входження ножа у фарш. Зменшення кута ($\beta < 27^\circ$) погіршує стійкість кромки ножа, на ній з'являються відколи і загини, ніж дуже швидко виходить з ладу. Циклічне навантаження на ніж, що виникає в процесі різання, приводить до того, що ці відколи стають концентраторами напружень у металі. Тому у ножі утворюються і розширюються втомні мікротріщини, що руйнують його.

Загальновідомо, що на ефективність різання впливає його кінематика, яка визначається швидкостями руху точок леза.

Швидкість v будь-якої точки леза відносно продукту змінна у часі і утворює з лезом гострий кут α , так що вона розкладається на нормальну v_n і дотичну v_t до леза складові.

Кут α між векторами v і v_n є кутом ковзання леза, а тангенс цього кута називається коефіцієнтом ковзання леза k_c [2].

Відомо, що можливі три варіанти процесу різання [3]:

а) якщо $v = v_n$, $v_t = 0$ і $k_c = 0$, то різання відбувається без ковзання або це нормальне (рубачоче) різання;

б) якщо $v \neq v_n$, то різання косе або похиле;

в) якщо $v = v_t$, $v_n = 0$, $k_c = 0$, то лезо ковзає поверхнею продукту, не вклинюючись в нього, при цьому різання не відбувається.

Похиле різання має перевагу перед нормальним, тому що при цьому значно зменшується v_n , що обумовлює менше зминання продукту, втрату ним соку і краще зберігання смакових і товарних якостей.

Основними перевагами похилого різання є:

а) кінематична трансформація кута загострення леза β' ;

б) перенос частини сили тертя продукту на ніж з нормального напрямку до леза на дотичний.

Ефект кінематичної трансформації кута загострення полягає у тому, що при похилому різанні фактичний кут β' дещо менший від конструктивного кута загострення ножа β . На рис. 1 лінія СМ є траєкторією руху частинки продукту, який ковзає від точки М по робочій грані ножа.

Кінематичний кут різання обчислюється за відомою формулою [2]:

$$\beta' = \arctg \left(\frac{\tg(\beta)}{\sqrt{1 + \tg^2(\alpha)}} \right). \quad (1)$$

Серпоподібні ножі можуть мати різноманітну форму леза. Дуже часто форма леза ножа побудована на основі математичних кривих. Найчастіше застосовують такі криві, як евольвента, логарифмічна спіраль, архімедова спіраль [2].

Розглянемо, які показники будуть у леза, виконаного у вигляді спіралі Архімеда.

Кругова швидкість будь-якої точки ріжучої кромки, виконаної у вигляді спіралі Архімеда, визначається із співвідношення [2]:

$$v_0 = \omega \cdot \rho = \varphi \cdot v, \quad (2)$$

де φ – кут повороту променя, рад;

v – радіальна швидкість руху точки по променю, вона ж швидкість вклинювання леза в матеріал, м/с.

Відношення швидкості вклинювання v до кругової v_0 в нашому випадку рівне k_c , причому $v = v_n$, $v_0 = v_t$. Тоді коефіцієнт k_c буде рівний:

$$k_c = \frac{v_t}{v_n} = \frac{\varphi \cdot v}{v} = \varphi.$$

Таким чином, нормальна швидкість буде постійною у будь-якій точці леза.

При використанні ножа з лезом у вигляді логарифмічної спіралі швидкість руху точки по променю пропорційна довжині радіуса, причому при $\omega = \text{const}$ кругова швидкість будь-якої точки леза теж пропорційна радіусу [2]. Отже, коефіцієнт ковзання є постійною величиною $k_c = \text{const}$.

При використанні ножа з лезом у вигляді евольвенти тангенціальна швидкість у будь-якій точці леза постійна [2].

Розрахунки показали, що застосування ножів з формою леза у вигляді архімедової спіралі та евольвенти доцільне при подрібненні м'яса з низьким вмістом сполучної та хрящової тканини, а використання ножів з формою леза у вигляді логарифмічної спіралі – для подрібнення м'яса з високим вмістом сполучної тканини. Тому в запропонованого ножа для забезпечення його універсальності прийнято рішення поєднати у формі леза евольвенту та логарифмічну спіраль. При цьому евольвенту застосовано ближче до центра обертання ножа, а логарифмічну спіраль – ближче до периферії, де швидкість різання більша. Кінчик ножа виконано зубчастим для забезпечення більш ефективного подрібнення сполучної тканини.

Розглянемо кутерний ніж і його взаємодію з м'язовими волокнами в точках 1 і 2 (рис. 2).

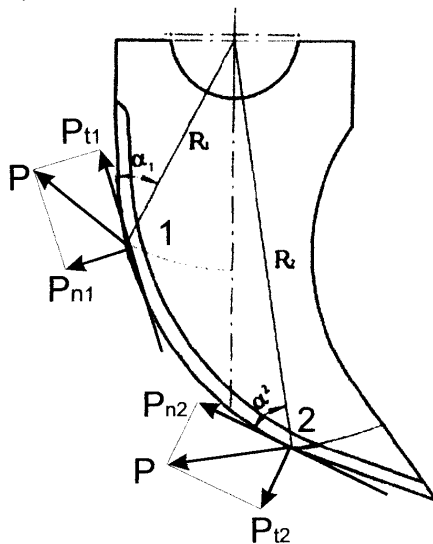


Рис. 2. Кутерний ніж з лінійною леза у вигляді кривої II порядку

На м'язове волокно в процесі кутерування діє сила P , спрямована перпендикулярно радіусу обертання ножа. Ця сила складається з нормальної P_n і дотичної (тангенціальної) P_t складових. Співвідношення цих двох сил залежить від кута α між дотичною в даній точці леза і радіусом обертання ножа R . Очевидно, чим менший кут α , тим більшою буде нормальна складова різання P_n , тому що $P_n = P \cos \alpha$. І навпаки, якщо кут α збільшується, то нормальна складова сили різання зменшується, а дотична складова зростає, оскільки $P_t = P \sin \alpha$. Відомо, що дотична складова сили різання P_t сприяє подрібненню сполучної тканини, яка міцніша м'язової тканини і її обробка різанням важча.

На рис. 2 точки 1 і 2 знаходяться на різних радіусах обертання ножа, при цьому $R_1 < R_2$. Збільшення цього радіуса приводить до того, що лінійна швидкість у точці 2 стає більшою, ніж у точці 1, а підвищення лінійної швидкості приводить до зростання сили різання P і її складових: нормальної P_n і дотичної P_t . Тому ефективність різання вища в кінцевій частині кутерного ножа. Крім того, у цій частині ножа забезпечується достатня щільність фаршу в пристінній зоні чаші, через те що відцентрова сила обертання чаші притискає кутеровану сировину до її стінок.

Ефективне і якісне подрібнення м'ясної сировини здійснюється при лінійній швидкості не менше $v = 100...110$ м/с [4]. В наш час більшість кутерів мають максимальну кількість обертів ножового вала до $n = 3000$ об/хв. При такій кількості обертів (відповідно до формули $V = 2\pi nR$) зазначену лінійну швидкість можна одержати, якщо радіус чаші R не менший 350 мм, тобто варто використовувати кутери з чашею, ємністю 300 л і більше. Для досягнення даної лінійної швидкості в кутерах меншої місткості чаш, наприклад 100-250 л, необхідно збільшити кількість обертів ножового вала до 4000 об/хв і більше.

Колова швидкість в найбільш віддаленій від осі обертання точці ріжучої кромки леза обчислюється за відомою формулою [2]:

$$v = \omega \cdot R, \quad (3)$$

де ω – максимальна кутова швидкість обертання ножового вала, с⁻¹;

R – радіус обертання найбільш віддаленої точки ріжучої кромки леза, м.

Сили P_n і P_t можна обчислити з формули потужності, що затрачається на різання [1]:

$$N = z \cdot (P_n \cdot v_n + P_t \cdot v_t) = \frac{a \cdot S \cdot z \cdot n}{60 \cdot 1000 \cdot \eta}, \quad (4)$$

де a – питома витрата енергії, Дж/м² (для кутерів періодичної дії задається у технічних характеристиках при використанні стандартних ножів);

S – площа перерізу фаршу, що подається під ножі, м²;

z – кількість ножів;

n – кількість обертів ножового вала, об/хв;

η – к.к.д. приводу.

Площа перерізу фаршу S є площею сегмента заповненої чаші і рівна:

$$S = 2 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot h, \quad (5)$$

де R_1 – радіус місткості чаші, м;

h – висота шару фаршу у чаші, м.

Підставивши у формулу (4) $P_n = P \cdot \cos(\alpha)$ і $P_t = P \cdot \sin(\alpha)$, можна приблизно розрахувати силу різання P , яка діє на один кутерний ніж:

$$P = \frac{S \cdot a \cdot n}{60 \cdot 1000 \cdot \eta \cdot (v_n \cdot \cos(\alpha) + v_t \cdot \sin(\alpha))}. \quad (6)$$

Крім цього силу P , яка діє на ніж, можна визначити за формулою [2]:

$$P = P_1 + 2P_2 \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) + 2P_3 \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) + 2P_4. \quad (7)$$

Підставляючи оптимальне значення кута загострення $\beta = 28^\circ$ у формулу (7) отримаємо:

$$P = P_1 + 0,48P_2 + 1,94P_3 + 2P_4, \quad (8)$$

де P_1 – сила, яка виникає при розділенні матеріалу, Н;

P_2 – сила, яка виникає при проникненні ножа у матеріал, Н;

P_3 , P_4 – сили тертя та адгезії, які виникають на ріжучій поверхні і паралельних площинах ножа, Н;

Розглянемо, як зміниться потужність, необхідна на подрібнення, у запропонованих ножів у порівнянні з відомими конструкціями.

Відомо, що при різанні м'яса (особливо на великих швидкостях) на бічних поверхнях ножа виникають значні сили тертя та адгезії. На практиці для зменшення цих сил під час кутерування у фарш додають воду. Однак дія цих сил залишається досить значною і призводить до зайвих втрат потужності і перегрівання фаршу.

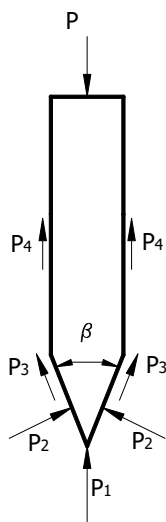


Рис. 3. Схема дії сил при нормальному різанні

У формулі (8), сили P_1 , P_2 , P_3 у запропонованих ножів залишаються незмінними, а сила тертя і адгезії P_4 зменшиться пропорційно до зменшення площі бічної поверхні ножа, що призведе до зменшення необхідної на різання потужності (згідно з формулою (4)).

Оскільки запропонований ніж виконано зі зменшеною площею бічних граней (рис. 4), то міцність його буде меншою від традиційних конструкцій ножів. Для забезпечення надійної роботи ножа необхідно застосувати сталь зі значним вмістом хрому та нікелю. Нікель підвищує ударну в'язкість сталі, а хром – твердість сталі. Гартуванню підлягає лише ріжуча кромка ножа, що забезпечує високу її зносостійкість. При цьому в інших частинах ніж не гартується і зберігає високу ударну в'язкість. Крім того, застосування високолегованої сталі збільшить термін служби кутерних ножів, що актуально у наш час на м'ясопереробних підприємствах, оскільки вартість ножів досить висока.

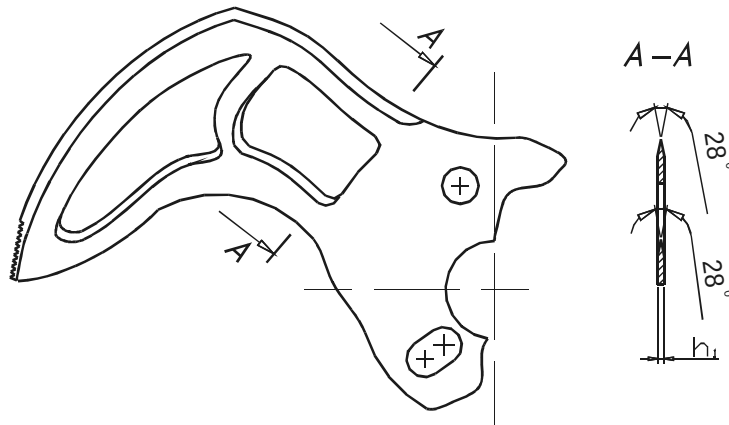


Рис. 4. Принципова схема запропонованого ножа

В подальшому планується експериментальне дослідження роботи ножа з метою відпрацювання конструкції до впровадження на підприємствах м'ясопереробної промисловості.

Висновок. Запропоновано нову конструкцію ножа кутера, що має значно меншу матеріаломісткість і, завдяки особливостям конструкції, забезпечує економію електроенергії та зменшує нагрівання фаршу при подрібненні м'яса за рахунок зменшення сил тертя та адгезії, що виникають при різанні на бічних гранях робочого органу. Крім того, виконання ріжучої кромки із застосуванням поєднання кривих евольвенти та логарифмічної спіралі забезпечує універсальність ножа для подрібнення різноманітної м'ясної сировини.

The analysis of influencing of geometrical parameters of cutters knives is conducted on quality of growing of raw material and consumption of electric power shallow during cutting. On the basis of analysis of work of cutting working organs a new construction of universal knives is offered with the purpose of reduction of material capacity, energy consumption and heating of stuffing at growing of meat products shallow at cutters periodic action.

Література

1. Пелеев А.Н. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности.- М.: Пищевая промышленность, 1971.-519 с.
2. Соколов В.Н. Конструирование оборудования пищевых производств.- М.: Пищевая промышленность, 1979.-348 с.
3. Гулий І.С. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості К.: Нова книга, 2000. – 575 с.
4. Косой В.Д. Совершенствование процесса производства варёных колбас. – М.:Лёгкая и пищевая промышленность, 1983. – 272 с.

Одержано 11.02.04 р.