

ВЛИЯНИЕ УГЛА РЕЗАНИЯ КУТТЕРНОГО НОЖА НА ПРИРОСТ ТЕМПЕРАТУРЫ СЫРЬЯ И УДЕЛЬНУЮ ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ПРОЦЕССА КУТТЕРОВАНИЯ

В.Я. Груданов, докт. техн. наук, профессор, А.А. Бренч, канд. техн. наук, доцент, Л.Т. Ткачева, канд. техн. наук, доцент (БГАТУ); А.Л. Желудков, ассистент (МГУП)

Аннотация

Разработаны ножи для куттеров периодического действия, использование которых позволяет проводить процесс измельчения с минимальными затратами электроэнергии и приростом температуры измельчаемого сырья.

Knives for cutters of periodic action have been designed, the use of which allows running the process of the milling with minimal power and increasing the temperature of crushed material.

Введение

При производстве фарша для вареных колбас в промышленности широко используются куттеры периодического действия. Тонкое измельчение мясного сырья является одним из важнейших процессов в формировании структуры фарша. В процессе эксплуатации мясорезущих инструментов необходимо учитывать высокую способность мясного сырья рассеивать энергию. Значительная часть энергии, расходуемой на процесс куттерования, превращается в тепло. При изготовлении колбасного фарша этот эффект вызывает частичную денатурацию белков, уменьшение их водосвязывающей способности и при определенных режимах измельчения может вызвать снижение качества колбасных изделий.

Для повышения эффективности процесса куттерования важно рационально выбрать оптимальные конструктивные параметры рабочих органов, обеспечивающие получение продукта с заданной степенью измельчения, сохраняя его пищевую и биологическую ценность. Куттерование – довольно энергоемкий процесс, поэтому необходимо искать возможные пути снижения удельных расходов электроэнергии без ухудшения качества фарша. В настоящее время конструкции рабочих органов не обеспечивают в полной мере выполнение основных технологических требований в части качества, производительности, энергозатрат и нуждаются в дальнейшем улучшении.

Основная часть

Широкое применение на мясоперерабатывающих заводах нашли куттерные ножи, режущая кромка которых описана кривыми второго порядка. Наиболее распространенными вариантами кривых второго порядка, применяемых при изготовлении куттерных ножей, являются спираль Архимеда, логарифмическая спираль и эвольвента круга.

При анализе вышеприведенных спиралей было установлено, что постоянство угла резания по всей

длине режущей кромки можно достичь, очертив лезвие логарифмической спиралью [1].

Ножи с подобным профилем лезвия хорошо разрезают соединительную ткань. Однако основным недостатком ножей, выполненных по логарифмической спирали, является трудность их изготовления и эксплуатации. Эта проблема решается путем выполнения режущей кромки ножа в виде ломаной линии с i -ым количеством прямолинейных участков (рис. 1).

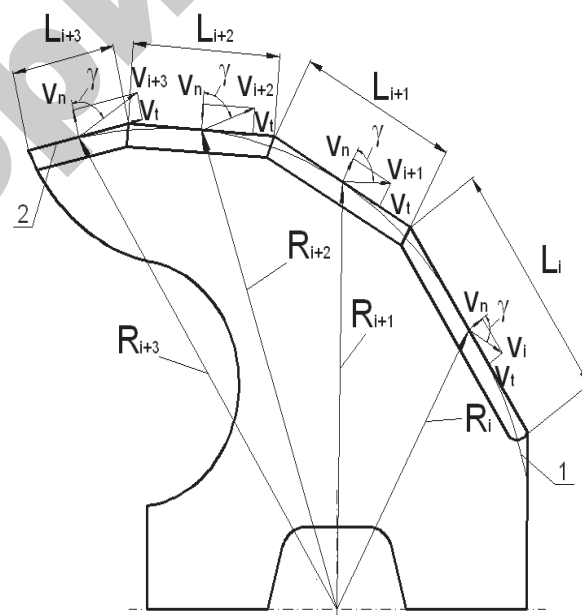


Рисунок 1. Схема куттерного ножа с ломаной режущей кромкой: 1- логарифмическая спираль; 2 – режущая кромка

Благодаря очертанию лезвия ножа логарифмической спиралью достигается постоянство угла резания по всей длине режущей кромки. Но из-за сложности выполнения ножей такой конструкции предлагается выполнить режущую кромку в виде ломаной линии,

выполненной касательно к логарифмической спирали. Это дает возможность получить постоянство угла резания в середине каждого прямолинейного участка режущей кромки, что, в свою очередь, обеспечивает равномерность измельчения продукта [2]. Длина прямолинейного участка режущей кромки может определяться из выражения

$$L_i = L_{i-1} \frac{R_{i-1}}{R_i}, \quad (1)$$

где R_{i-1} – расстояние от оси вращения ножа до середины $i-1$ – ой режущей кромки, м;

R_i – расстояние от оси вращения ножа до середины следующей режущей кромки, м.

Не менее важным для осуществления процесса измельчения мясного сырья при производстве колбасных изделий является угол заточки режущей кромки ножа. С учетом прочностных характеристик лезвия и свойств измельчаемого сырья, оптимальный диапазон значения угла заточки лежит в пределах $15^\circ \dots 30^\circ$. Уменьшение угла заточки обеспечивает улучшение условий резания. Однако при этом происходит снижение прочности режущей кромки, что приводит к частой перезаточке ножей. При увеличении угла заточки стойкость лезвия повышается, но при этом возрастает сопротивление внедрения ножа в измельчаемое сырье и, как следствие, увеличиваются затраты энергии на процесс куттерования.

В своей работе [3] М.Н. Клименко приводит, что величина давления режущей кромки ножа на продукт равна

$$P = \frac{I}{r} \cdot \frac{d\omega}{dr}, \quad (2)$$

где I – момент инерции ножа, m^4 ;
 r – расстояние от оси вращения ножа до режущей кромки, м;

ω – угловая скорость, рад/с.

Из соотношения следует, что с увеличением r величина давления ножа на обрабатываемый продукт снижается. В то же время при резании волокнистых материалов необходимо, чтобы давление в зоне контакта режущей кромки и продукта не уменьшалось с увеличением расстояния от оси вращения до режущей кромки, а наоборот, увеличивалось. Этот эффект может быть достигнут двумя способами: за счет уменьшения угла заточки лезвия по мере увеличения расстояния от оси вращения до режущей кромки, либо путем увеличения угла резания режущей кромки.

При использовании ножа с серповидной режущей кромкой второй путь более практичен и осуществляется путем увеличения угла резания по мере роста расстояния от оси вращения до режущей кромки. Однако ножи с длинной режущей кромкой имеют большую боковую поверхность, что приводит к значительным потерям энергии на трение и, как следствие, к более интенсивному повышению температуры фарша во время процесса куттерования.

Использование ножей с ломаной режущей кромкой позволяет пойти по первому пути: уменьшать

угол заточки прямолинейного участка режущей кромки по мере увеличения расстояния от оси вращения до режущей кромки (рис. 2). Это конструктивное решение позволяет получить требуемое давление в зоне контакта режущей кромки и продукта [4].

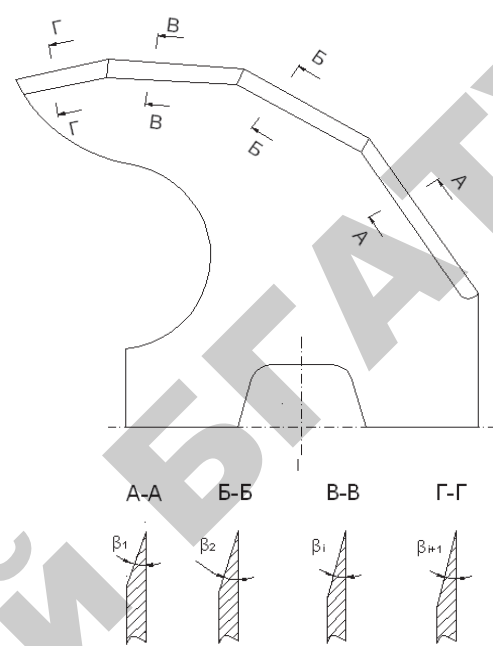


Рисунок 2. Схема куттерного ножа с изменяющимся углом заточки режущей кромки

Таким образом, были предложены новые технические решения в области конструирования куттерных ножей, позволяющие снизить прирост температуры измельчаемого сырья и затраты энергии с сохранением требуемого качества к измельчаемому продукту.

Для определения конкретных конструктивных параметров (оптимального угла резания) куттерного ножа необходимо проведение экспериментальных исследований, учитывающих влияние данного параметра на процесс куттерования. На рис. 3 представ-

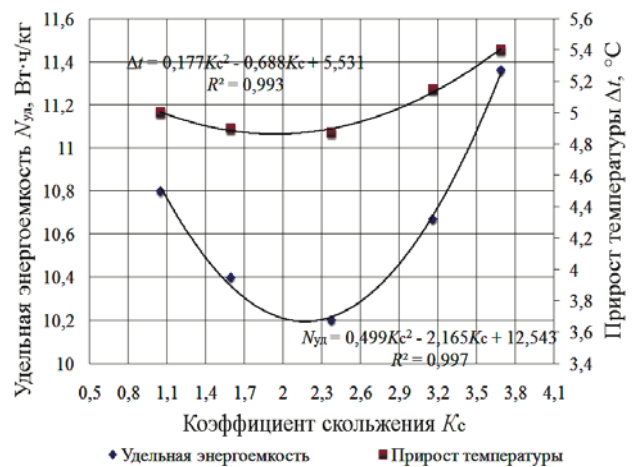


Рисунок 3. Зависимость $N_{уд}$ и Δt от K_c

лена зависимость удельной энергоемкости $N_{уд}$ и прироста температуры Δt в процессе куттерования от коэффициента скольжения куттерного ножа.

Из графика видно, что при изменении коэффициента скольжения ножа K_c от 1,06 до 1,94 прирост температуры изменяется в диапазоне от 5 °С до 4,66 °С. Причем минимальный прирост температуры достигается при коэффициенте скольжения $K_c = 1,94$. С увеличением коэффициента скольжения прирост температуры в процессе куттерования начинает интенсивно расти.

При куттеровании энергия, затрачиваемая ножами, рассекающими при больших скоростях слой довольно липкого фарша, расходуется, главным образом, на преодоление сил адгезии и трения. Силы адгезии находятся в прямой зависимости от площади контакта лезвия ножа и измельчаемого продукта, поэтому для существенного снижения их следует уменьшать боковую поверхность ножей за счет выпрямления лезвия.

Резание при куттеровании должно быть скользким, а лезвие ножа – наклонным, что обеспечивает смещение продукта по лезвию ножа. Увеличение коэффициента скольжения приводит к увеличению длины режущей кромки, что приводит к увеличению боковой поверхности ножа и большим потерям энергии на трение и, как следствие, приводит к более интенсивному повышению температуры куттеруемого сырья во время процесса куттерования.

Величина удельной энергоемкости с увеличением K_c от 1,06 до 2,17 также уменьшается. Причем минимум наблюдается при коэффициенте скольжения – 2,17. При дальнейшем увеличении K_c значение удельной энергоемкости $N_{уд}$ повышается. Основной причиной повышения удельного расхода энергии на процесс куттерования является повышение величины составляющей $N_{уд}$, необходимой для преодоления сил трения. Поверхность контакта режущего органа при $K_c = 3,7$ больше в сравнении со случаем рубящего резания в несколько раз. Так как усилие прижатия продукта к боковой поверхности и коэффициент трения при заданной скорости резания являются величиной постоянной, можно сделать вывод, что основной причиной повышения $N_{уд}$ при увеличении коэффициента скольжения является увеличение составляющей удельного расхода энергии на преодоление сил трения поверхности ножа о продукт.

Проведенные исследования процесса куттерования позволили установить, что минимальные прирост температуры и удельная энергоемкость процесса достигаются с использованием ножей с коэффициентом скольжения $K_c = 2,06$. Так как $K_c = \operatorname{tg} \gamma$, то данному коэффициенту скольжения соответствует угол резания $\gamma = 64^\circ 11'$.

В общем виде уравнение логарифмической спирали имеет вид

$$r = a^\phi, \quad (3)$$

где r – радиус-вектор спирали, м;
 a – постоянный коэффициент;
 ϕ – полярный угол, рад.

В этой спирали радиус-вектор и касательная в любой точке кривой образует постоянный угол γ (угол резания), при этом кривая пересекает все лучи, выходящие из полюса под одним и тем же углом. Данная спираль была положена в основу разработки куттерного ножа новой конструкции, т.к. в наибольшей степени отвечает предъявляемым требованиям к конструкции рабочих органов куттеров.

Для построения логарифмической спирали с заданным углом γ необходимо определить коэффициент a .

Из свойств логарифмической спирали известно, что производная функции r' равна

$$r' = r \cdot \operatorname{ctg} \gamma, \quad (4)$$

где $\operatorname{ctg} \gamma$ – котангенс угла γ между радиус-вектором и касательной, проведенной к логарифмической спирали.

Учитывая, что уравнение логарифмической спирали имеет вид $r = a^\phi$, а ее производная равна

$$r' = a^\phi \cdot \ln a, \quad (5)$$

получаем

$$a^\phi \cdot \ln a = a^\phi \cdot \operatorname{ctg} \gamma, \quad \ln a = \operatorname{ctg} \gamma,$$

$$\operatorname{ctg}(64^\circ 11') = 0,485, \quad \ln a = 0,485.$$

Следовательно

$$a = e^{0,485},$$

где e – основание натурального логарифма, $e = 2,718$.

Тогда уравнение логарифмической спирали с углом $\gamma = 64^\circ 11'$ примет вид

$$r = e^{0,485 \phi}. \quad (6)$$

Подставляя значения полярных углов ϕ с шагом угла равным $\pi / 6$ в выражение (6), строим логарифмическую спираль с заданным углом резания $\gamma = 64^\circ 11'$.

После построения логарифмической спирали режущая кромка в виде ломаной линии строится так, чтобы ее прямолинейные участки своей серединой касались логарифмической спирали. Этим достигается получение постоянства угла резания γ в середине каждого прямолинейного участка режущей кромки, что, в свою очередь, обеспечивает равномерность измельчения продукта по всей длине режущей кромки, что позволяет повысить качество готового продукта и эффективность работы куттерного ножа [2].

Для увеличения давления в зоне контакта режущей кромки и продукта угол заточки на самом удаленном от оси вращения прямолинейном участке режущей кромки составляет 15° . Этот участок будет иметь наибольшую линейную скорость, поэтому здесь будет происходить наиболее интенсивный износ режущей кромки.

У посадочного отверстия ножа угол заточки режущей кромки увеличивается до 27° , а линейная скорость принимает наименьшее значение, поэтому износ режущей кромки будет менее интенсивный. Шаг изменения угла заточки, начиная от наиболее удален-

ного от оси вращения ножа прямолинейного участка режущей кромки, составляет 3°.

В процессе эксплуатации использование ступенчатой заточки режущей кромки ножа позволяет перезатачивать только часть режущей кромки, подвергающейся наибольшему износу, что снижает затраты времени на перезаточку ножей [4].

Разработанные куттерные ножи обладают рядом преимуществ по сравнению с серийно выпускаемыми ножами:

- снижение удельной энергоемкости процесса и прироста температуры измельчаемого сырья за счет применения оптимального угла резания;
- обеспечение равномерности измельчения продукта по длине режущей кромки;
- сокращение времени на перезаточку ножей за счет использования ступенчатой заточки режущей кромки, что позволяет перезатачивать только часть кромки, подвергающейся наибольшему износу.

На рис. 4 представлена ножевая головка куттера с ножами, у которых угол резания в середине прямолинейных участков режущей кромки составляет 64°11'.

Заключение

Предложенные технические решения в области конструирования куттерных ножей и проведенные экспериментальные исследования позволяют конструировать ножи с оптимальным углом резания, использование которых обеспечивает минимальную удельную энергоемкость процесса и прирост температуры измельчаемого сырья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Груданов, В.Я. Обоснование конструктивных и геометрических параметров режущих инструментов для тонкого измельчения мясного сырья / В.Я.



Рисунок 4. Ножевая головка куттера с разработанными ножами

Груданов, А.А. Бренч, А.Л. Желудков, В.М. Поздняков // Вес. Нац. акад. наук Беларусі: сер. фіз.-тэхн. навук. – 2011. – № 3. – С. 47-53.

2. Нож куттера серповидный: пат. 11597 Респ. Беларусь, МПК6 В02 С18/30/ В.Я. Груданов, А.А. Бренч, А.Л. Желудков; заявитель Могилевский гос. ун-т продовольствия; опубл. 28.02.09// Афіцыйны бюл./ Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці.

3. Клименко, М.Н. Развитие теории процесса резания мяса и совершенствование машин для измельчения сырья в производстве колбасных изделий: автореф. ... дис. докт. техн. наук: 05.18.12. – М., 1990.

4. Нож куттера: пат. 11793 Респ. Беларусь, МПК6 В02 С18/30 / А.Л. Желудков, В.Я. Груданов, А.А. Бренч; заявитель Могилевский гос. ун-т продовольствия; опубл. 30.04.09// Афіцыйны бюл./Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці.

Радиоволновой влагомер зерна

Предназначен для непрерывного измерения влажности зерна в процессе сушки на зерносушильных комплексах.

Основные технические данные

Диапазон измерения влажности зерна	от 9 до 25%
Основная абсолютная погрешность	не более 0,5%
Температура контролируемого материала	от +5 до +65°C
Цена деления младшего разряда блока индикации	0,1%
Напряжение питания	220 В 50Гц,
Потребляемая мощность	30ВА

Влагомер обеспечивает непрерывный контроль влажности зерна в потоке и автоматическую коррекцию результатов измерения при изменении температуры материала, имеет аналоговый выход 4-20 мА, а также интерфейс RS-485.