

УДК 637.531.45

КУТТЕРНЫЕ НОЖИ С РЕЖУЩЕЙ КРОМКОЙ В ВИДЕ ЛОМАННОЙ ЛИНИИ

Бренч А.А., к.т.н.,

Груданов В.Я., д.т.н.

Белорусский государственный аграрный технический университет

Тел. (+375 17) 369 77 58

Аннотация – в работе проанализировано влияние геометрических параметров куттерного ножа на процесс куттирования. Определены основные пути совершенствования конструкций рабочих органов машин для тонкого измельчения мясного сырья, что позволяет повысить качество измельчаемого продукта и уменьшает затраты энергии на процесс куттирования.

Ключевые слова – куттерный нож, тонкое измельчение, угол скольжения, режущая кромка, мясное сырье.

Постановка проблемы. В мясной отрасли при производстве колбасных изделий широко применяется операция измельчения, которая оказывают существенное влияние на качество фарша и выход готового продукта. При конструировании мясорезущих машин и механизмов необходимо учитывать биологическое происхождение измельчаемого сырья, вид и количество добавок, а также особенности процесса куттирования. Качество колбасных изделий и их выход зависят от ряда факторов. Среди них решающее место принадлежит тонкому измельчению мяса в куттере и температурному режиму процесса. Причем на качество измельчения в значительной мере влияет форма ножей. Процесс резания при тонком измельчении мясного сырья осуществляют на высоких скоростях режущих рабочих органов куттеров. Он сопровождается выделением большого количества теплоты, что вызывает значительное повышение температуры сырья и приводит к денатурации белков, снижению водосвязывающей способности полуфабриката и изменению структурно-механических свойств продукта, что существенно снижает качество готовых мясных изделий. Эти обстоятельства обуславливают необходимость точного расчета и контроля при производстве режущих инструментов с оптимальными геометрическими и механическими характеристиками.

Анализ последних исследований. В качестве рабочих органов куттеров на предприятиях мясоперерабатывающей промышленности применяют ножи, имеющие различную конструкцию и форму. Геометрические параметры режущего органа, как показали исследования Бакунца Г.В., Василевского О. М., Жаринова А.И. [1], оказывают существенное влияние на величину сил резания.

Клименко М.Н. проводил исследования по определению наиболее эффективных форм лезвия. Эффективность работы ножей определялась по величине мощности на ножовом валу, длительности измельчения и качеству фарша. Исследования показали, что минимальная величина мощности на ножовом валу получена при использовании ножей в виде логарифмической спирали и спирали Архимеда. По данным Клименко М.Н. [2], минимальная работа на перерезание продукта затрачивается при использовании лезвия с углом резания $30^{\circ} \dots 65^{\circ}$.

Изучению влияния угла заточки лезвия ножа на параметры резания посвящены работы многих ученых [3], таких как Пелеев А.И., Чижикова Т.В., Резник Н.Е. и др. Следует отметить, что степень влияния остроты режущей кромки на усилия резания в этих работах несколько отличается друг от друга. А природа возникновения эффекта разрушения и величина контактных напряжений в зоне резания определена в настоящее время еще в недостаточной мере.

В своих исследованиях Даурский А.Н. [4] изучал влияние угла заточки на величину силы резания. Резание проводили ножом толщиной 1,2 мм с углами заточки 5° , 15° , 35° , 45° , 60° и 90° . Скорость резания изменялась в пределах от 0,01 до 0,2 м/с. Анализ полученных данных показал, что при изменении угла заточки усилие резания изменяется на 12%...20 %. При увеличении угла заточки ножа усилие резания растет. Это объясняется тем, что деформации подвергается большая зона разрезаемого материала. При дальнейшем увеличении угла заточки наблюдалось увеличение усилий резания. При этих углах заточки ножа разрезаемый материал прилипает к граням ножа, образуя постоянную застойную зону, за границей которой происходят упругие и пластические деформации разрезаемого материала.

При анализе работы режущих органов В.П. Горячкин [5] показал, что с увеличением радиуса вращения прямых плоскоповоротных ножей величина давления режущей кромки на продукт постепенно уменьшается. К тому же соединительнотканые волокна, вырванные из продукта, висят на режущей кромке и сползают по ней к периферии, снижая режущую способность ножей. При резании волокнистых материалов необходимо, чтобы давление в зоне контакта режущей кромки и продукта не уменьшалось с увеличением расстояния от оси вращения, а наоборот, увеличивалось.

Формулирование цели статьи (постановка задания). Целью исследований является повышения эффективности тонкого измельчения мясного сырья на основе разработки новых конструкции куттерных ножей.

Основная часть. Процесс резания в куттерах отечественного и зарубежного производств осуществляется серповидными ножами, режущая кромка которых выполнена в виде кривой, построенной по определенной спирали, при этом были исследованы: спираль Архимеда с уравнением $R = a \cdot \varphi$ и логарифмическая спираль с уравнением $R = a^{\varphi}$. Для произвольной кривой лезвия [3], описываемой в полярной системе координат уравнением $R = R(\varphi)$, и ножа, вращающегося вокруг ее полюса, общее выражение коэффициента скольжения, известное из дифференциальной геометрии, будет иметь вид

$$K_{\beta} = R \cdot \frac{d\varphi}{dR}, \quad (1)$$

где, φ – полярный угол;

R – радиус–вектор точки лезвия.

Чтобы коэффициент скольжения не уменьшался по мере поворота лезвия, производная $\cdot \frac{d\varphi}{dR}$ должна уменьшаться не быстрее, чем растёт радиус-вектор. Выпуклое лезвие ножа, выполненное по Архимедовой спирали с уравнением $R = a\varphi$, не обеспечивает этого требования. При анализе вышеприведенных спиралей [2], было выявлено, что постоянство коэффициента скольжения K_{β} можно достичь, очертив лезвие только логарифмической спиралью с уравнением

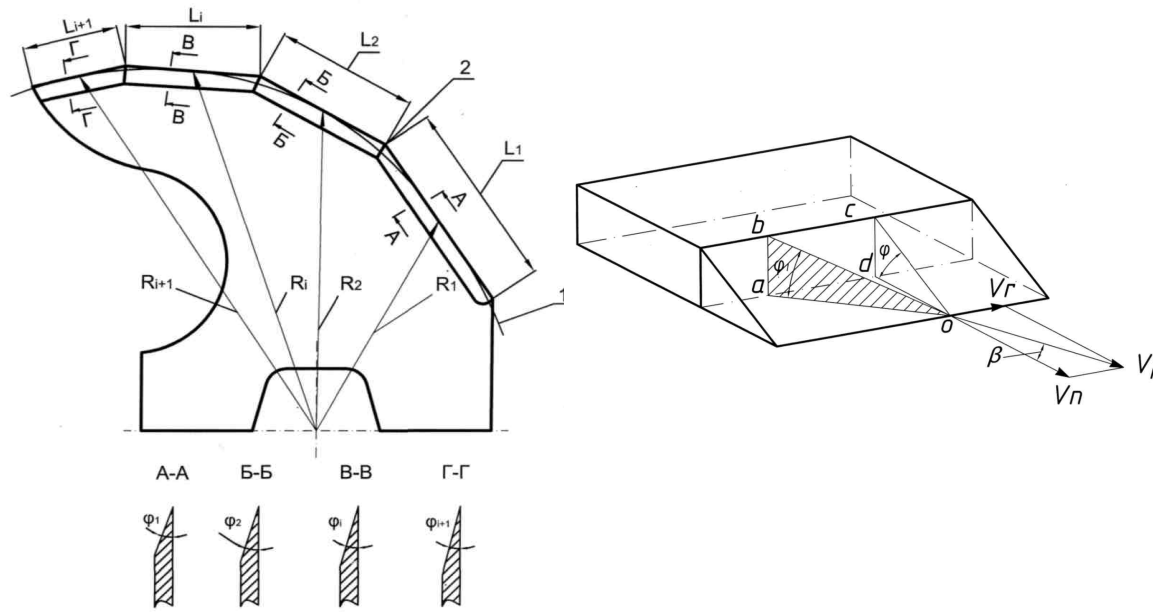
$$R = a^{\varphi}, \quad (2)$$

где, R – радиус-вектор спирали;

a – постоянный коэффициент;

φ – полярный угол.

Основным недостатком ножей выполненных по логарифмической спирали является трудность выполнения заточки. Эта проблема решается путем выполнения режущей кромки ножа в виде ломаной линии с i -ым количеством прямолинейных участков по закону логарифмической спирали (рис. 1а).



а) Схема куттерного ножа:
1 – логарифмическая спираль
2 – режущая кромка

б) Схема к определению
трансформации угла затоки

Рис. 1. Схема куттерного ножа с режущей кромкой в виде ломаной линии, построенной по закону логарифмической спирали

Благодаря очертанию лезвия ножа куттера логарифмической спиралью с уравнением $R = a^\varphi$, достигается постоянство угла резания β 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 каждой режущей кромки, что, в свою очередь, обеспечивает равномерность измельчения продукта по всей длине режущей кромки, что позволяет повысить качество готового продукта, и, тем самым, повышает эффективность работы ножа куттера. При этом целесообразно, чтобы длина L_i каждой режущей кромки определялась из выражения

$$L_i = L_{i-1} \frac{R_{i-1}}{R_i}, \quad (3)$$

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

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

Выполнение формулы (3) позволяет соотнести геометрические размеры куттерного ножа, и тем самым уменьшает длину каждого следующего прямолинейного участка режущей кромки, что снижает гидравлическое сопротивление, а также затраты энергии на процесс куттирования. Это дополнительно улучшает качество готового продукта и повышает эффективность работы куттера.

Кроме того, при резании волокнистых материалов необходимо, чтобы давление в зоне контакта режущей кромки и продукта не уменьшалось с увеличением расстояния от оси вращения, а наоборот, увеличивалось. Этот эффект может быть достигнут за счет уменьшения угла заточки лезвия по мере увеличения расстояния от оси вращения до режущей кромки, либо путем увеличения угла встречи режущей кромки с продуктом. При использовании ножа с серповидной режущей кромкой второй путь более практичен и осуществляется путем увеличения угла встречи по мере роста расстояния от оси вращения до режущей кромки. Однако это ведет к увеличению боковой поверхности ножа, что приводит к более интенсивному повышению температуры фарша во время процесса куттирования.

В тоже время использование ножей с ломаной режущей кромкой позволяет уменьшать угол заточки лезвия по мере увеличения расстояния от оси вращения до режущей кромки (рис 1а). При движении лезвия нормально относительно соей режущей кромки определение величины угла заточки производится исходя из обычного представления о геометрии лезвия в статическом состоянии. Нетрудно убедиться, что в процессе резания со скольжением угол заточки в направлении резания меняет свое значение – уменьшается в зависимости от угла скольжения β . Иными словами переходя от представления о статической геометрии лезвия к представлению о его кинематической геометрии, мы сталкиваемся с явлением трансформации угла заточки.

На рисунке 1б представлена схема лезвия с углом заточки φ , равным φ . При проникновении лезвия в материал нормально, т. е. по направлению V_n , указанный угол будет равен замеренному статически. В случае, когда лезвие станет проникать в материал под некоторым углом β к нормали, т. е. в направлении V_p , угол заточки должен быть замерен, а плоскости, проходящей через это направление, т.е. будет равен углу φ_1 , равным φ_1 . Закономерность изменения угла заточки φ_1 в зависимости от изменения угла β может быть определена следующим образом:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{ab}{ao}; \operatorname{tg} \varphi = \frac{dc}{do} = \frac{ab}{do}; \operatorname{tg} \varphi_1 \cdot ao = \operatorname{tg} \varphi \cdot do; \frac{do}{ao} = \cos \beta.$$

Выражаем $\operatorname{tg} \varphi_1$

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos \beta. \quad (4)$$

Выражение 4 показывает закономерность изменения угла заточки φ_1 , в зависимости от изменения угла встречи β . Поэтому для уменьшения лобового сопротивления внедрения лезвия ножа в продукт необходимо выполнять режущую кромку с углом заточки, проходящим через плоскость аоб. Новая конструкция куттерного ножа обладает рядом конструктивных преимуществ по сравнению с серийно выпускаемыми ножами:

- обеспечивается равномерность измельчения продукта по длине режущей кромки;
- за счет трансформации угла заточки снижается лобовое сопротивление внедрения лезвия ножа в продукт;
- уменьшение угла заточки лезвия по мере увеличения расстояния от оси вращения ножа до режущей позволяет уменьшить длину режущей кромки, что приводит к уменьшению боковой поверхности ножа и снижению темпа роста температуры обрабатываемого продукта.

В апреле 2015 года в условиях колбасного цеха ОАО «Минский мясокомбинат» проведены промышленные испытания опытных образцов куттерных ножей новой конструкции для куттера Nowicki KN 330, разработанного в Учреждении образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» [6–9] при выполнении государственной комплексной программы научных исследований «Механика» по заданию «Развитие теории измельчения животного сырья и оптимизации конструктивных параметров рабочих органов мясоизмельчительных машин». При проведении сравнительных испытаний новых куттерных ножей с серийными были получены следующие результаты:

- снижение прироста температуры фарша на 3..5°C;
- уменьшение энергоемкости процесса измельчения до 4–6%;
- повышение производительности на 3–5%.

Годовой экономический эффект от внедрения куттерных ножей составил 104,2 млн. руб.

Выводы. Проанализировано влияние геометрических параметров куттерного ножа на процесс куттирования. Определены основные

пути совершенствования конструкций рабочих органов машин для тонкого измельчения мясного сырья, что позволят повысить качество измельчаемого продукта и уменьшает затраты энергии на процесс куттирования.

Литература:

1. *Груданов, В.Я.* «Золотая» пропорция в инженерных задачах: монография / *В.Я. Груданов.* – Могилев.: МГУ им. А.А. Кулешова, 2006. – 288 с.

2. *Бренч, А.А.* Исследование конструктивных особенностей куттерного ножа с режущей кромкой в виде ломаной линии / *А.А. Бренч, А.Л. Желудков, М.В. Бренч* // Научно–технический рецензируемый журнал «Инженерный вестник», Минск, 1(25) 2008. – С. 16 – 18.

3. *Пелеев, А.И.* Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности / *А.И. Пелеев.* – М.: Пищевая пром–сть, 1971. – 520с.

4. *Даурский, А.Н., Мачихин, Ю.А.* Резание пищевых материалов. – М.: Пищевая промышленность, 1980. – 240 с.

5. *Груданов, В.Я.* Влияние угла резания куттерного ножа на прирост температуры сырья и удельную энергоёмкость процесса куттерования / *В.Я. Груданов, А.А. Бренч, Л.Т. Ткачева, А.Л. Желудков.* // Агропанорама. – 2012. – № 6 – С. 21 – 24.

6. Нож куттера серповидный: пат. № 11597 Респ. Беларусь, МПК (2006) В 02С 18/20 / *В.Я. Груданов, А.А. Бренч, А.Л. Желудков;* заявитель Могилевский гос. ун-т продовольствия. – № а20061055; заявл. 27.10.06; опубл. 30.04.07 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – №1. – С. 62.

7. Нож куттера: пат. № 11793 Респ. Беларусь, МПК (2006) В 02С 18/20, В 02С 18/20 / *В.Я. Груданов, А.А. Бренч, А.Л. Желудков;* заявитель Могилевский гос. ун-т продовольствия. – № а20070507; заявл. 04.05.07; опубл. 30.10.07 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – №2. – С. 59-60.

8. Куттер: пат. № 12028 Респ. Беларусь, МПК (2006) В 02С 18/00 / *В.Я. Груданов, А.А. Бренч, А.Л. Желудков;* заявитель Могилевский гос. ун-т продовольствия. – № а20070044; заявл. 18.01.07; опубл. 30.08.07 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – №3. – С. 63–64.

9. Нож куттера: пат. № 12967 Респ. Беларусь, МПК (2009) В 02С 18/00 / *А.Л. Желудков, В.Я. Груданов, А.А. Бренч;* заявитель Могилевский гос. ун-т продовольствия. – № а20080459; заявл. 10.04.08; опубл. 30.10.08 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – №1. – С. 71.

КУТЕРНІ НОЖІ З РІЖУЧОЮ КРОМКОЮ У ВИГЛЯДІ ЛОМАНОЇ ЛІНІЇ

Анотація – в даній роботі проаналізовано вплив геометричних параметрів кутерного ножа на процес кутерування. Виявлені основні напрямки вдосконалення конструкції робочих органів машин для тонкого помолу м'ясної сировини, що дозволяє підвищити якість здрібненого продукту і зменшує витрати енергії на процес кутерування.

ANALYSIS OF A NEW DESIGN CUTTING A KNIFE WITH A BROKEN CUTTING EDGE.

A. Brench, V. Grudanov

Summary

In work influence of geometrical parameters of cutting knife on the process of cutting is analysed. The basic ways of perfection of designs of working bodies of machines for thin crushing meat raw material that will allow to raise quality of a crushed product are certain and reduces expenses of energy for process. Theoretical and experimental researches comparison of a knife provide basis for exact estimation of the cutting tool tense-deforming conditions. It confirms that these knives are in equal in strength conditions.