

АНАЛИЗ РАБОЧИХ ОРГАНОВ МАШИН ДЛЯ ТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЯСНОГО СЫРЬЯ

А.Л. Желудков, С.В. Акуленко, С.Н. Хатетовский, К.К. Гуляев

Рассмотрены области применения куттерных ножей различной конфигурации при производстве колбасных изделий. Определены способы повышения эффективности процесса куттерования.

Введение

Качество колбасных изделий и выход готовой продукции зависят от ряда факторов. Среди них решающее место принадлежит тонкому измельчению мяса в куттере, причем на качество измельчения в значительной мере влияет форма ножей.

Процесс куттерования проводится при высоких скоростях резания, что обуславливает получение однородной консистенции готового продукта при производстве вареных колбас. Процесс 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 готового продукта.

Эти обстоятельства обуславливают необходимость точного расчета и контроля при производстве режущих инструментов с оптимальными геометрическими и механическими характеристиками.

Цель настоящей работы – изучить области применения куттерных ножей различной конфигурации при производстве колбасных изделий и определить способы повышения эффективности процесса куттерования.

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ конструкций куттерных ножей показал, что до настоящего времени нет единой методики в профилировании режущей кромки рабочих органов. Ряд производителей режущего инструмента выпускает мало отличающиеся по форме ножи, конструкции которых до настоящего времени не имеют достаточного теоретического и экспериментального обоснования, вследствие чего возникает задача оптимизации геометрических параметров режущих органов.

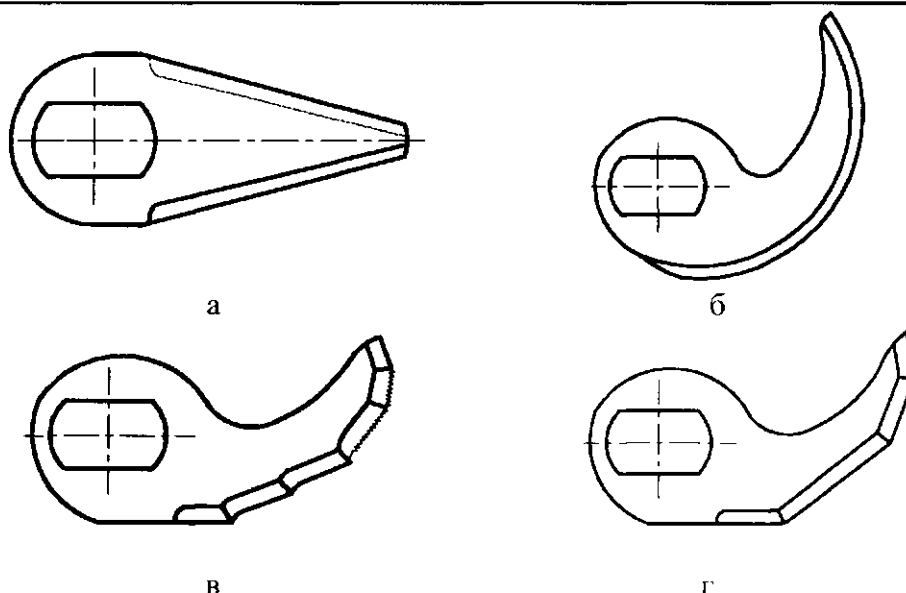
По конструкции куттерные ножи можно разделить на четыре группы:

- куттерный нож с прямолинейной режущей кромкой;
- куттерный нож с режущей кромкой, образованной непрерывной кривой линией (серповидный);
- куттерный нож с режущей кромкой в виде зубчатой линии;
- куттерный нож с режущей кромкой в виде ломаной линии.

Нож с прямолинейной режущей кромкой (рисунок 1а) имеет два лезвия, по одному с каждой стороны относительно его продольной оси, которая является осью симметрии. Лезвия могут быть наклонены под углом 15° – 20° к этой оси (радиусу вращения) [1].

Проведенные исследования процесса куттерования позволили установить, что минимальный прирост температуры и удельная энергоемкость процесса достигаются с использованием ножей с режущей кромкой в виде ломаной линии и углом резания $\gamma = 64^{\circ}$.

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



- а – куттерный нож с прямолинейной режущей кромкой;
 б – куттерный нож с режущей кромкой, образованной непрерывной кривой линии;
 в – куттерный нож с режущей кромкой в виде зубчатой линии;
 г – куттерный нож с режущей кромкой в виде ломаной линии

Рисунок 1 – Конфигурации куттерных ножей

Необходимо отметить, что ножи с прямолинейной режущей кромкой, по сравнению с серповидными ножами, имеют меньшую площадь трения с фаршем, так как средняя боковая поверхность ножа с прямолинейной режущей кромкой, контактирующая с фаршем за один оборот, значительно меньше, чем поверхность серповидного в тех же условиях. Этот нож имеет ряд очевидных преимуществ по отношению к серповидному ножу: при их изготовлении уменьшается процент отходов металла за счет более рационального раскроя и существенно упрощается его изготовление; увеличивается долговечность ножа за счет двух режущих кромок; упрощается перезаточка режущих кромок.

Однако в процессе использования ножей подобной конфигурации преобладает рубящее резание. При таком способе плохо перерезается соединительная ткань, которая на несколько порядков более прочная, чем мышечная. Поэтому эти ножи целесообразно использовать для перемешивания.

На мясоперерабатывающих предприятиях широкое применение нашли серповидные куттерные ножи (рисунок 1б), режущая кромка которых выполнена в виде кривой, построенной по определенной спирали. При этом для профилирования ножей могут использоваться кривые следующего вида: архимедова спираль, логарифмическая спираль, эвольвента и дуга окружности со смещенным центром.

Проведены исследования наиболее эффективных форм лезвия. Эффективность работы ножей определялась по величине мощности на ножевом валу, длительности измельчения и качеству фарша. Исследования показали, что минимальная величина мощности на ножевом валу получена при использовании ножей в виде логарифмической спирали и спирали Архимеда.

При такой форме ножей достигается необходимое качество измельчения за счет высокого коэффициента скольжения, однако ножи серповидной формы имеют весьма существенные недостатки: высокая стоимость изготовления; требуется сложное заточное оборудование при высокой квалификации обслуживающего персонала; завышенный расход металла при их изготовлении.

Для приготовления в куттере эмульсий из сырой свиной шкурки рекомендуется приме-

нять ножи с зубчатой линией лезвия (рисунок 1в), так как прочность основного белка свиной шкурки – коллагена – очень высока. Поэтому нужно иметь нож, который был бы способен измельчать его. Для этих целей используется нож, измельчающий как своеобразная пила, в которой зубья перепиливают коллагеновые волокна, резко увеличивая влагосвязывающую способность. Однако специфика использования ножей данной конструкции ограничивает их эксплуатацию при производстве колбасных изделий [2].

В современных куттерах широкое применение получили ножи, режущая кромка которых образована ломаной линией, вписанной в кривую второго порядка (рисунок 1г). Это универсальные ножи, обеспечивающие высокую степень измельчения и усиленный эмульгирующий эффект. Ломаная линия, как правило, состоит из четырех-пяти отрезков, имеющих разную длину [3].

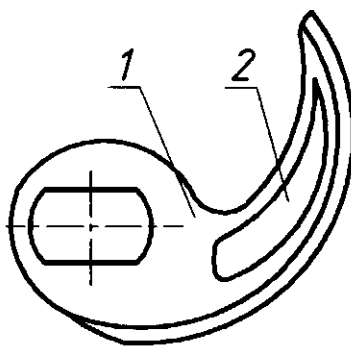
Вершины ломаной линии, как своеобразные зубья, создают дополнительное усилие резания. Данная форма режущей кромки обеспечивает снижение затрат на изготовление и последующую эксплуатацию (перезаточку) по сравнению с серповидными ножами и ножами с зубчатой линией режущей кромки.

При анализе конструктивных особенностей различных вариантов куттерных ножей следует рассмотреть группу ножей с перфорацией, а также ножи с дополнительными режущими кромками и повышенной эмульгирующей способностью (с раздвоенной концевой частью). Схема ножа с перфорацией представлена на рисунке 2.

Оценивая перфорированные ножи, необходимо иметь в виду, что применение такой конструкции снижает лобовое сопротивление ножа, возникающее в результате подачи фарша, и, тем самым, общее силовое воздействие на нож [4].

Наличие отверстий в ноже обуславливает возникновение гидравлических возмущений в среде измельчаемого сырья, в особенности на конечной стадии куттерования при производстве жидких фаршей, вследствие чего возрастают энергетические составляющие процесса, связанные с нагревом, а также дополнительным перемешиванием сырья.

Вместе с тем следует отметить, что отверстия в теле ножа являются концентраторами напряжений, уменьшающими прочность ножа, и способствуют снижению его динамической устойчивости.



1 – нож; 2 – перфорация

Рисунок 2 – Схема куттерного ножа с перфорацией

Ножи с дополнительными режущими кромками и с раздвоенной концевой частью, по информации производителей, обладают повышенной способностью к эмульгированию и тонкому измельчению сырья. При этом ножи данных конструкций, вследствие пониженных прочностных свойств, могут использоваться только при куттеровании ранее измельченного фарша. Также не допускается их применение при измельчении замороженного сырья.

Не менее важным для осуществления технологического процесса измельчения мясного сырья при изготовлении колбасных изделий является угол заточки лезвия ножа. В настоящее время для куттерных ножей рекомендуется использовать следующие варианты заточки [5]:

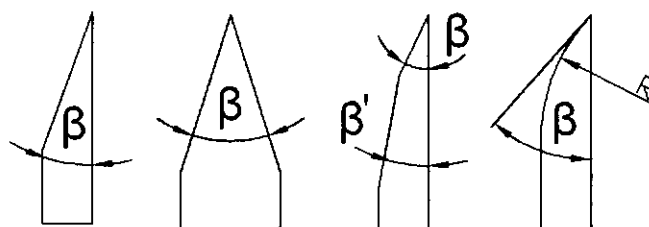


Рисунок 3 – Профили заточки лезвия

При использовании современных куттеров, где скорость резания превышает 100 м/с, с учетом прочностных характеристик режущего лезвия и свойств измельчаемого сырья оптимальный диапазон значений угла заострения лезвия ножа находится в пределах $15^\circ \dots 30^\circ$ [6]. С одной стороны, уменьшение угла заострения обеспечивает улучшение условий резания, с другой – при этом происходит снижение прочности режущей кромки, что приводит к частой перезаточке ножей. При увеличении угла заточки стойкость лезвия повышается, однако возрастает сопротивление внедрения ножа в измельчаемое сырье, что приводит к более интенсивному нагреванию продукта. Волокна мяса при резании тупым лезвием рвутся без перерезания, увеличивается расход энергии на упругую деформацию массы фарша и мяса.

Для повышения эффективности процесса куттерования были использованы технические решения согласно патентам Республики Беларусь [7, 8]. В соответствии с предложенными техническими решениями режущая кромка куттерного ножа выполнена в виде ломаной линии, проведенной касательно к логарифмической спирали, что дает возможность получить постоянство угла резания в середине каждого прямолинейного участка режущей кромки и обеспечивает равномерность измельчения продукта [7].

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 ножа до режущей кромки либо путем увеличения угла резания режущей кромки.

При использовании ножа с серповидной режущей кромкой второй путь более практичен. Однако увеличение угла резания ведет к увеличению длины режущей кромки ножа, что приводит к большим потерям энергии на трение и, как следствие, приводит 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 ножа до режущей кромки. Это конструктивное решение позволяет получить требуемое давление в зоне контакта режущей кромки и продукта [8].

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 проведены экспериментальные исследования, учитывающие влияние данного параметра на процесс куттерования. На рисунке 4 представлена зависимость удельной энергоемкости $N_{уд}$ и прироста температуры Δt в процессе куттерования от коэффициента скольжения куттерного ножа.

Из рисунка 4 видно, что при изменении коэффициента скольжения ножа K_c от 1,06 до 1,94 прирост температуры уменьшается от 5°C до $4,66^\circ\text{C}$. Причем минимальный прирост температуры достигается при коэффициенте скольжения ножа $K_c = 1,94$. С увеличением коэффициента скольжения прирост температуры в процессе куттерования начинает расти.

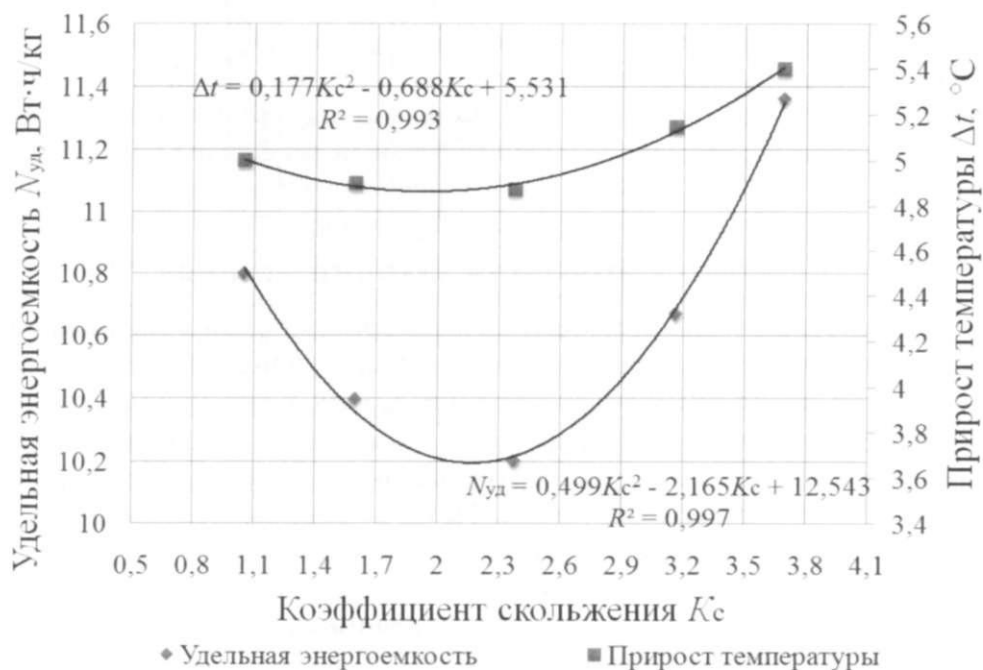


Рисунок 4 – Зависимость удельной энергоёмкости и прироста температуры от коэффициента скольжения

Величина удельной энергоёмкости 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 энергоёмкости $N_{уд}$ 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.

Таким образом, исследование процесса куттерования позволило установить, что минимальные прирост температуры и удельная энергоёмкость 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 $\gamma=64^\circ 11'$.

Закключение

Рассмотрены области применения куттерных ножей различной конфигурации для производства колбасных изделий. Определены способы повышения эффективности процесса куттерования. Полученные результаты исследований позволяют конструировать ножи с оптимальным углом резания, обеспечивающие минимальную удельную энергоёмкость процесса и прирост температуры измельчаемого сырья.

Литература

- 1 Бренч, А.А. Совершенствование конструкций рабочих органов куттеров / А.А. Бренч, Г.И. Белохвостов // Техника и технология пищевых производств: материалы IV Международной научно-технической конференции, Могилев / УО МГУП; редкол. Т.С. Хасаншин [и др.] – Могилев, 2003. – С. 274–275.
- 2 Дуда, А.Н. Конструкция куттерных ножей влияет на качество измельчения фарша / А.Н. Дуда // Мясная индустрия. – 2003. – № 10. – С. 55–57.

- 3 Akulenko, S. New approach to the construction of knives for machines intended for meat raw material cutting / S. Akulenko, A. Zheludkov, I. Ivanova // Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Agriculture (Agricultural and Forest Engineering). – 2012. – № 59. – P. 115–121.
- 4 Василевский, О.М. Машины периодического действия для приготовления фарша / О.М. Василевский, О.В. Соловьев, Д.О. Трифонова // Мясные технологии. – 2007. – № 6. – С. 20–24.
- 5 Василевский, О.М. Машины периодического действия для приготовления фарша / О. М. Василевский, О.В. Соловьев, Д.О. Трифонова // Мясные технологии. – 2007. – № 5. – С. 42-47.
- 6 Дуда, А.Н. Куттерный нож и его влияние на качество колбасных изделий / А.Н. Дуда // Мясные технологии. – 2004 г. – № 8. – С. 16–17.
- 7 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.
- 8 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.

Поступила в редакцию 30.06.2014