

УДК 664.692.5

**Груданов В.Я., доктор технических наук, профессор,
Торган А.Б., кандидат технических наук, доцент**

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ РЕЖУЩЕГО МЕХАНИЗМА МАКАРОННОГО ПРЕССА

Резание может быть осуществлено при относительном перемещении режущего инструмента и продукта и в зависимости от направления этого перемещения резание принято подразделять на рубящее и скользящее [1, 2].

При рубящем резании режущий инструмент перемещается относительно продукта перпендикулярно режущей кромке лезвия, при скользящем – под острым углом к режущей кромке лезвия.

При рубящем резании лезвие ножа, перемещаясь перпендикулярно режущей кромке, деформирует продукт и уплотняет его поверхностный слой, в котором возникают контактные напряжения, имеющие максимальное значение в зоне контакта с острой кромкой ножа.

При скользящем резании в результате движения ножа перпендикулярно режущей кромке происходит проникновение его в толщу продукта.

В отличие от рубящего резания при скользящем для резания продукта требуется меньшее уплотнение и усилие, т.к. перерезание продукта осуществляется отдельными микрозубчиками, причем суммарная длина микрозубчиков, одновременно участвующих в резании продукта, всегда меньше длины режущей кромки лезвия. По этой причине при скользящем резании величина контактных напряжений, необходимая для резания продукта, следовательно, и требующая усилия, значительно меньше, чем при рубящем резании. Важно отметить, что поверхности среза при скользящем резании получаются более гладкими и ровными, чем при рубящем резании, т.к. продукт подвержен меньшему силовому воздействию со стороны режущего инструмента. Скользящее резание целесообразно применять при резании пластичных продуктов с невысокой механической прочностью, при этом продукт значительно меньше деформируется. Сочные продукты не теряют сока, а их ломтики не разваливаются и не деформируются [3, 4].

Однако, как показывает опыт изучения технологии производства макаронных изделий, в макаронных прессах отечественного и зарубежного производства работа режущего механизма для отрезания отформованных полуфабрикатов основана на теории рубящего резания: макаронные прессы ЛПЛ-2М, ЛПЛ-1М, ЛМБ, ЛПШ-500, ЛПШ-750, ЛПШ-1000, швейцарский макаронный пресс ТРХО (210/520, 210/600, 2×210/520 и 2×2210/600). Рубящее резание (отрезание) применяется в современных пресс-автоматах РТ-ПМ-21, РТ-ПМ-21-01, РТ-ПМ-31, а также в пресс-автомате МИТ-2 (г. Барановичи). Неравномерная скорость прессования в сочетании с методом рубящего резания приводит к увеличению количества отходов в виде обрубков и в конечном счете – к снижению производительности. Количество отходов по указанной причине на макаронных прессах достигает 20 %, а качество отрезанных полуфабрикатов не отвечает технологическим требованиям. С целью получения поверхности среза гладкой и ровной и уменьшения отходов режущий механизм макаронных прессов должен работать на основе теории скользящего резания трущейся пары нож-матрица [5, 6].

Теоретические предпосылки. Скорость v любой точки ножа относительно продукта может быть представлена суммой двух скоростей: v_n , направленной по нормали к режущей кромке лезвия, и v_τ , направленной по касательной к ней. Абсолютная величина скорости

$$v = \sqrt{v_n^2 + v_\tau^2} \quad (1)$$

Угол β , заключенный между нормалью к режущей кромке и скоростью относительно продукта, называется углом скольжения. Тангенс угла скольжения называется коэффициентом скольжения K_β , который численно равен отношению касательной скорости v_τ к нормальной v_n .

$$K_\beta = \operatorname{tg} \beta = \frac{v_\tau}{v_n} \quad (2)$$

Коэффициент скольжения может принимать числовые значения от нуля до ∞ . При $K_\beta = 0$ имеет место рубящее резание, при $K_\beta = \infty$, режущий инструмент совершает скользящее движение вдоль продукта, не разрезая его.

С увеличением коэффициента скольжения K_β улучшается и качество нарезанного продукта: кусочки меньше деформируются, имеют более чистую поверхность срез. При скользящем резании сопротивление перерезанию волокон и стенок клеток продукта уменьшается с возрастанием угла скольжения или, что то же самое, происходит уменьшение эффективной длины режущей кромки лезвия.

Рассмотрим изменение K_β по длине прямолинейного лезвия (рис. 1).

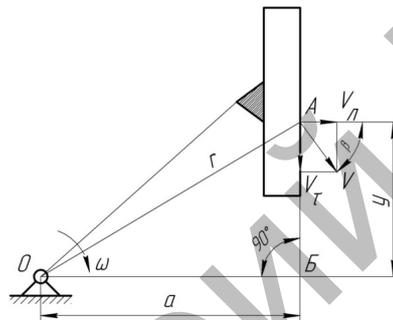


Рисунок 1. Схема определения коэффициента скольжения по длине прямолинейного резания

Как видно из рисунка 1, коэффициент скольжения

$$K_\beta = \frac{v_\tau}{v_n} = \operatorname{tg} \beta = \frac{a}{y}, \quad (3)$$

где a – наименьшее расстояние от центра вращения до режущей кромки лезвия или ее продолжение;

y – расстояние от рассматриваемой точки А до пересечения режущей кромки с опущенным на нее перпендикуляром из центра вращения

При постоянной a коэффициент скольжения K_β изменяется по длине лезвия в зависимости от y по закону гиперболы. В точке Б ($y = 0$) нормальная составляющая скорости $v_n = 0$, $K_\beta = \infty$, т.е. резания не будет. При увеличении y K_β уменьшается. При $y = \text{const}$ K_β возрастает с увеличением a . если $a = 0$, режущая кромка лезвия совпадает с радиусом, $K_\beta = 0$, значит, осуществляется рубящее резание. Для качественной нарезки пищевых продуктов необходимо, чтобы K_β по длине лезвия был постоянным или мало изменялся. С учетом вышеизложенных теоретических предпосылок определим коэффициент скольжения трущейся пары нож-матрица макаронного пресса.

Построение математической модели. Коэффициент скольжения трущейся пары нож-матрица. Как уже отмечалось, при скользящем резании сопротивление перерезанию волокон и стенок клеток продукта уменьшается с возрастанием угла скольжения или, что то же самое, – с увеличением коэффициента скольжения и длины режущей кромки лезвия. Поэтому в системе нож-матрица необходимо использовать не только законы скользящего резания, но и максимальную длину режущей кромки лезвия. На рисунке 2 представлена схема определения коэффициента скольжения по длине прямолинейного лезвия в трущейся паре нож-матрица.

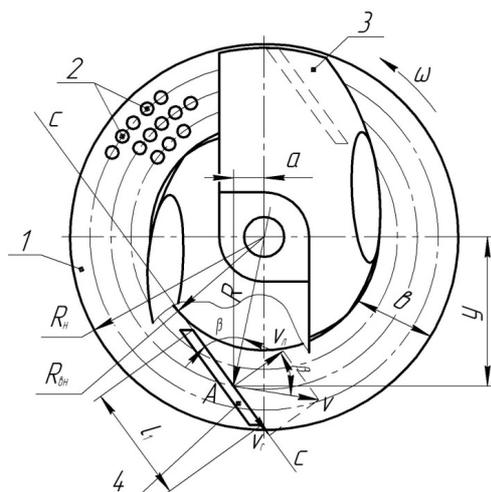


Рисунок 2. Схема определения коэффициента скольжения по длине прямолинейного лезвия
 1 – матрица; 2 – отверстие перфорации; 3 – вращающийся нож; 4 – лезвие ножа;
 l – длина режущей кромки лезвия; R_n – наружный радиус матрицы; $R_{вн}$ – внутренний радиус матрицы;
 $C-C$ – касательная к внутренней окружности $R_{вн}$; V – линейная скорость произвольной точки A ;
 V_n, V_r – нормальная и касательная составляющие линейной скорости V ; β – угол скольжения;
 a, y – координаты точки A ; R – радиус вращения точки A ; b – ширина рабочей поверхности матрицы;
 ω – угловая скорость ножа

Как видно из рисунка 2, коэффициент скольжения K_β определяется по формуле

$$K_\beta = \frac{V_r}{V_n} = \operatorname{tg} \beta \frac{a}{y} \quad (4)$$

Режущая кромка лезвия 4 вращающегося ножа 3 проходит по касательной $C-C$ к внутренней окружности $R_{вн}$ и в этом случае длина l режущей кромки лезвия 4 будет максимальной, а коэффициент скольжения K_β – наибольшим.

В точке Б ($y = 0$), $V_n = 0$ и $K_\beta = \infty$, т.е. резания не будет. При увеличении y K_β уменьшается. При $y = \text{const}$ K_β возрастает с увеличением a . Если $a = 0$, $K_\beta = 0$ – имеет место рубящее резание.

Таким образом, расположение режущей кромки лезвия наклонено по касательной $C-C$ к внутренней окружности $R_{вн}$ матрицы позволяет получить наибольшую длину l лезвия 4 и, как следствие, создать наилучшие условия для скользящего резания и процесса измельчения в целом.

Построение математической модели. Определение оптимальной длины режущей кромки лезвия ножа. С увеличением коэффициента скольжения K_β суммарная сила сопротивления перерезанию продукта P и ее нормальная составляющая P_n уменьшается, что и приводит к снижению энергозатрат на процесс измельчения.

Нормальная P_n и касательная P_τ составляющие сопротивления перерезанию P (рис. 3) определяется по формулам:

$$P_n = P \cos \beta = ql \cos^2 \beta \quad (5)$$

$$P_\tau = P \sin \beta = ql \sin \beta \cdot \cos \beta \quad (6)$$

где q – удельное сопротивление продукта на единицу длины лезвия, $H \cdot \text{м}$;

l – длина режущей кромки лезвия ножа, участвующая в отрезании слоя продукта, м.

$$P = q \cdot l \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + K_\beta^2}} \quad (7)$$

$$P = q \cdot l \cdot \frac{1}{1 + K_\beta^2} \quad (8)$$

$$P_{\tau} = q \cdot l \cdot \frac{K_{\beta}^2}{1 + K_{\beta}^2} \quad (9)$$

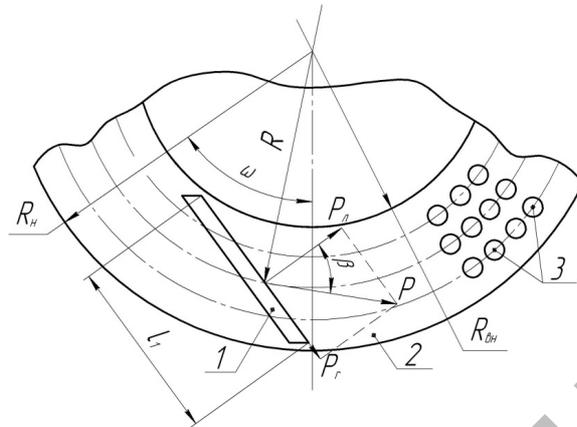


Рисунок 3. Схема определения оптимальной длины режущей кромки лезвия ножа
 P – сила сопротивления перерезанию продукта; P_n – нормальная составляющая силы P ;
 P_t – касательная составляющая силы P ; β – угол скольжения; l – лезвие ножа; 2 – матрица;
 3 – отверстие перфорации; l_1 – длина режущей кромки лезвия

Из формул (4-6) следует, что с увеличением коэффициента скольжения K_{β} суммарная сила сопротивления перерезания P и ее нормальная составляющая P_n уменьшаются, причем P_n – более значительно, чем P . Касательная составляющая P_t вначале возрастает, достигая максимума при $K_{\beta} = 1$, после чего убывает, приближаясь по величине к P .

Из рисунка 3 определяем оптимальную длину режущей кромки лезвия ножа:

$$L = \sqrt{b^2 + 2R_n(R_n - b)} \quad (10)$$

где b – ширина рабочей поверхности матрицы; R_n – наружный радиус матрицы

На основе анализа литературных данных, а также изучения основных закономерностей теории резания материалов сформулированы основные направления совершенствования конструкции режущего механизма макаронного прессы. В частности установлено, что наилучшие показатели по энергозатратам и качеству готового продукта обеспечивает скользящее резание макаронных полуфабрикатов, а не рубящее, имеющее место в режущих механизмах макаронных прессов.

На основе закономерностей скользящего резания получена формула для определения оптимальной длины режущей кромки лезвий вращающегося ножа в зависимости от ширины кольцевой рабочей поверхности матрицы, при этом определен оптимальный угол наклона режущей кромки лезвия ножа, позволяющей получить наибольший коэффициент скольжения.

Список использованной литературы

1. Ивашов, В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности: учебное пособие: в 2 ч. / В.И. Ивашов.– СПб.: Гиорд, 2007. – Ч. 2: Оборудование для переработки мяса. – 464 с.
2. Клименко, М.Н. Развитие теории процесса резания мяса и совершенствование машин для измельчения сырья в производстве колбасных изделий: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.12 / М.Н. Клименко – М., 1990. – 460 с.
3. Оборудование предприятий общественного питания: в 3 т. / В.Д. Елхина – М.: Экономика, 1987. – Т. 1: Механическое оборудование. – 447 с.

4. Чижикова, Т.В. Машины для измельчения мяса и мясных продуктов / Т.В. Чижикова . – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 302 с.
5. Медведев, Г.М. Технология макаронного производства: учебник для вузов / Г. М. Медведев. – М. : Колос, 1998. – 272 с.
6. Чернов, М.С. Оборудование макаронной промышленности за рубежом / М.С. Чернов. – М. : ЦНИИТЭИпищепром, – 1978. – 232 с.

УДК 637.134

Паляничка Н.А., кандидат технических наук, доцент

Таврический государственный агротехнологический университет, г. Мелитополь, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРОЦЕССА ИМПУЛЬСНОЙ ГОМОГЕНИЗАЦИИ МОЛОКА

Гомогенизация является одним из самых важных процессов в технологической линии производства молочной продукции. Качество готового продукта с применением гомогенизации намного выше [1].

В основном для гомогенизации на сегодняшний день применяют клапанные гомогенизаторы. Но анализ конструкций клапанных гомогенизаторов показал, что они имеют существенные недостатки: значительные габаритные размеры и массу, большую металлоёмкость, высокие энергозатраты, быстрый износ рабочих поверхностей клапана и достаточно высокую стоимость оборудования. Поэтому исследование механизмов измельчения жировой фазы молока с целью снижения затрат энергии на процесс и повышение качества готовой продукции на сегодняшний день очень актуально [1].

Решить эту проблему возможно использованием для гомогенизации молока импульсного гомогенизатора. В ходе экспериментальных исследований в Таврическом государственном агротехнологическом университете, в лаборатории был сконструирован лабораторный образец импульсного гомогенизатора. Устройство состоит с рабочей камеры с поршнями-ударниками, которые приводятся в колебательное движение через шток. Основной поршень-ударник закреплен жестко на штоке, а дополнительный соединяется с основным при помощи пружины. Для возможности регулирования частоты колебания поршня-ударника используется электродвигатель постоянного тока [1, 2].

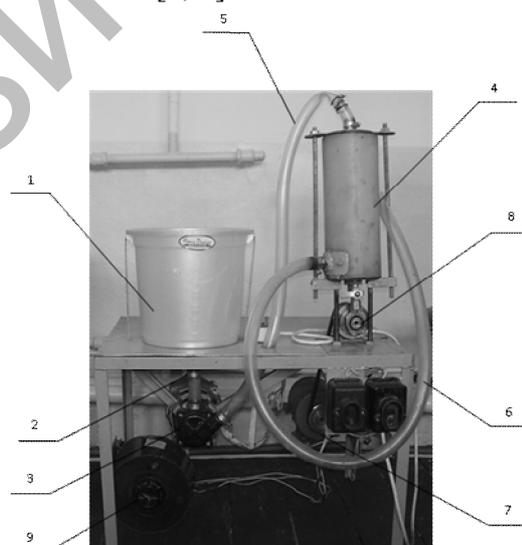


Рисунок 1. Общий вид устройства для импульсной гомогенизации молока

- 1 – технологическая емкость; 2 – пропускной вентиль; 3 – насос; 4 – рабочая камера гомогенизатора;
- 5, 6 – трубы для подведения исходного и отведения гомогенизированного молока;
- 7 – электродвигатель постоянного тока; 8 – импульсный привод; 9 – лабораторный трансформатор