

Математическая модель процесса обвалки реберного мяса

Д.т.н. Пеленко В.В., к.т.н. Е.И. Верболоз, Н.А. Зуев,
аспиранты Р.А. Азаев, Р.Г. Ольшевский, магистрант В.В. Кузьмин

Одним из перспективных путей увеличения объемов производства мясной продукции является повышение выхода мясного сырья в процессе обвалки путем создания прогрессивного оборудования.

Так, среднестатистическая доля, например, реберных костей в общей костной массе убойного скота составляет 5,5%. Выход костей по отношению к живой массе колеблется в диапазоне 13–21%.

Для нормы выхода мясного сырья на уровне 44%, ежегодные объемы переработки реберного мяса составляют порядка 24–39 тыс. тонн. При существующей сегодня норме остатка мякотных тканей на кости 20,5% к массе кости, своего прямого назначения не достигает продукция объемом 6,3–10,1 тыс. тонн только по мясу реберной костной компоненты.

Таким образом, решение сформулированной задачи позволяет поднять объемы выпуска мясного сырья в стране за счет совершенствования процесса обвалки реберных костей минимум на 6 тыс. тонн в год или на 25% от объема обваленного мяса, что в денежном выражении превышает 1 млрд. рублей или 30 млн. долларов США без учета социального эффекта, получаемого в результате снижения объемов тяжелого, физического ручного труда обвальщиков.

Уменьшение затрат ручного труда, достигаемое внедрением новой технологии и техники обвалки межреберного мяса, кроме социального, даст и экономический эффект, что поможет вывести из зоны убыточности часть находящихся там около 50% мясоперерабатывающих предприятий.

На кафедре «Техника мясных и молочных производств» СПбГУНиПТ проводится глубокая экспериментальная и теоретическая исследовательская работа по обоснованию новой технологии обвалки реберного мяса и созданию опытного образца устройства для обвалки, на которое подана заявка на изобретение.

Системный подход к решению задач, формулируемых отраслью перед наукой, ставит на повестку дня исследователей целый комплекс взаимосвязанных вопросов, среди которых первоочередными являются процессы и оборудование для измельчения, посола и копчения мясного сырья, что обусловлено спецификой структуры, физико-механических, теплофизических, массообменных и других характеристик обваленного мяса.

Математическая постановка задачи отрыва мяса от реберной кости может быть представлена в виде расчётной схемы, изображённой на рисунке 1.

Содержательно постановка задачи выглядит следующим образом.

От тела пластины рёберного мяса отрывается рёберная кость толщиной «h» приложенными к нему внешними силами, действующими против сил адгезии соединительной ткани мяса к поверхности ребра на поверхности отрыва.

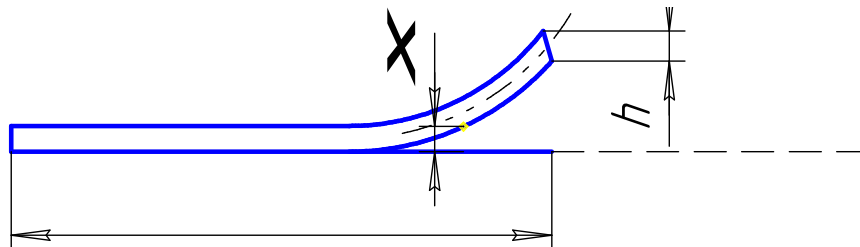


Рис.1 Схема отрыва мяса от рёберной кости.

Рассматривая процесс отрыва как процесс квазистатический при заданных внешних силах для установившегося равновесия с определёнными величиной поверхности отрыва и формой отрываемого ребра требуется определить зависимость связывающую величину сил адгезии с формой отрываемого ребра.

Решение задачи сводим к случаю, когда отрываемый слой (ребро) рассматривается как пластинка, один из краёв которой (линия отрыва) заделан.

В такой ситуации изгибающий момент, действующий у заделанного края определяется соотношением:

$$M = (Eh^3 / (12(1-\nu^2))) (\partial^2 \xi / \partial n^2),$$

где ξ – координата точки изогнутой оси пластинки (ребра);

n – нормаль к изогнутой оси;

E – модуль продольной упругости материала для пластинки (рёберной кости) или модуль растяжения;

ν – коэффициент Пуассона.

Здесь: $\nu = 1/2((3k-2\mu)/(3k+\mu))$,

k – модуль всестороннего сжатия;

μ – модуль сдвига.

k связан с коэффициентами Ламэ « λ » и « μ » соотношением:

$$k = \lambda + 2/3\mu,$$

В теории упругости принято пользоваться величинами E и ν , поэтому отметим следующие связи их с коэффициентами Ламэ:

$$\mu = E / (2(1+\nu))$$

$$k = E / (3(1-2\nu))$$

$$\lambda = (E\nu) / ((1+\nu)(1-2\nu))$$

Уравнение для работы, производимой моментом « M » при удлинении области отрыва на δx , запишется:

$$M(\partial(\delta\xi)/\partial x) = M \delta x ((\partial^2 \xi) / (\partial x^2))$$

Работа изгибающей силы F является при этом малой величиной второго порядка:

$$F = -Eh^3 / (12(1-\nu^2)) [((\partial^3 \xi) / (\partial n^3)) + (d\theta/dl) ((\partial^2 \xi) / (\partial n^2))],$$

здесь $d\theta/dl = 1/R = S$ – кривизна изогнутого ребра.

Величину $D = Eh^3 / (12(1-\nu^2))$ называют жёсткостью пластины при изгибе, или цилиндрической жёсткостью.

Ключевым моментом в решении задачи является условие равновесия, то есть равенство этой работы по изменению поверхностной энергии $2q \delta x$. Множитель 2 учитывает образование двух свободных поверхностей при отрыве.

Таким образом, решение получаем в виде:

$$q = Eh^3 / (24(1-\nu^2)) ((\partial^2 \xi) / (\partial x^2))^2$$

Интегрируя полученное соотношение, получим уравнение упругой линии ребра:

$$\xi(x) = \sqrt{(6q(1-\nu^2) / (Eh^3))} \cdot x^2$$

$$1/R = (\partial \xi) / (\partial x) = \sqrt{(6q(1-\nu^2) / (Eh^3))} \cdot x .$$

Полученное уравнение позволяет при известных физико-механических характеристиках мясного сырья (E - модуль продольной упругости рёберной кости, ν - коэффициент Пуассона для неё, q – адгезионная прочность соединительной ткани мяса, h – толщина рёберной кости) рассчитать минимально необходимую величину хода толкателя обвалочной установки и кривизну установочной гибкой пластины в момент окончания процесса обвалки (рис. 2).

Использование полученного уравнения позволяет осуществлять экспериментальное определение адгезионной прочности соединительной ткани мясного сырья « q »:

$$q = \frac{8E \cdot h^3}{3(1-\nu^2)} \left(\frac{b}{l^2} \right)^2$$

где b – максимальный ход толкателя;

l – длина рёберной кости.

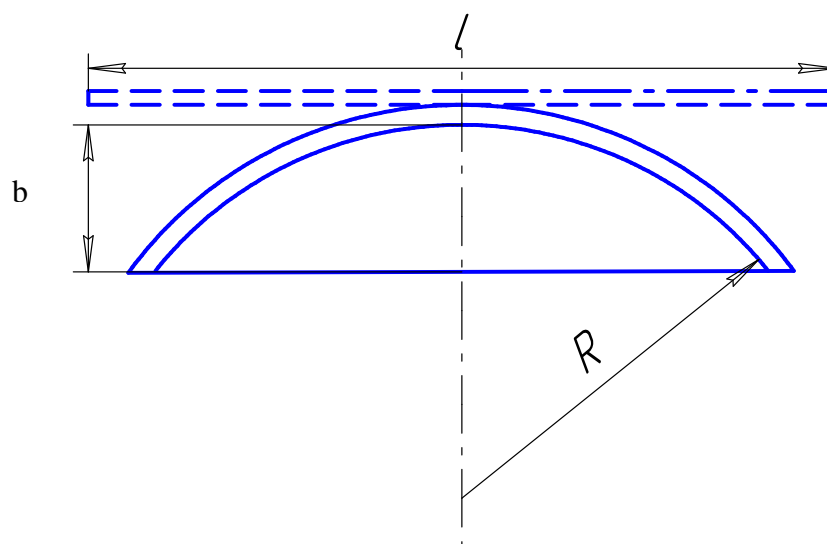


Рис. 2 Схема момента окончания процесса обвалки.

Основные выводы:

1. Показана актуальность дальнейшего интенсивного развития оборудования для обработки мясного сырья.
2. Отражены основные направления совершенствования процессов и оборудования.
3. Разработана математическая модель процесса обвалки рёберного мяса.
4. Отмечена возможность использования, построенной математической модели при проведении экспериментальных работ.