

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КУТТЕРНОГО НОЖА

В.Я. Груданов, доктор технических наук, профессор,  
Г.И. Белохвостов, кандидат технических наук  
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
Минск, Беларусь,

Н.Н. Курилович, кандидат технических наук, доцент,  
А.Л. Желудков  
УО «Могилевский государственный университет продовольствия»,  
Могилев, Беларусь

Процесс измельчения мясного сырья наряду с термической обработкой является основным процессом при производстве колбасных изделий. Для тонкого измельчения сырья в мясной промышленности широко применяются куттеры.

Продолжительность куттерования существенно влияет на качество фарша. Общая продолжительность куттерования 8...12 мин. Она зависит от конструктивных особенностей куттеров, формы ножей, скорости их вращения. За оптимальную продолжительность куттерования принята длительность процесса, при котором все показатели фарша и готовой продукции достигают наибольших значений.

Как показывает анализ литературных данных, основное влияние на качество измельчения при достижении оптимальных физических свойств и технологических характеристик продукта оказывает форма куттерных ножей [2].

Процесс тонкого измельчения мясного сырья в куттерах осуществляется серповидными ножами. Режущая кромка ножей выполнена в виде кривой, построенной по определенной спирали. При работе таких ножей в куттерах происходит совмещение процессов резания, смятия и перемешивания мяса, находящегося в чаше. Такие ножи находятся в условиях сложного напряженного состояния (СНС). По данным некоторых исследований, давление  $q$  на плоскости серповидного ножа составляет 0,0075 МПа [1].

Исследования напряженно-деформированного состояния серповидного ножа проводились теоретически и экспериментально. При теоретическом исследовании применяли метод конечных элементов (МКЭ) с использованием пакета прикладных программ на ЭВМ.

В этом случае можно было получить распечатку полей напряжения и деформаций по всей плоскости ножа.

Для исследования напряженно-деформированного состояния серповидного ножа использовали ножи куттера типа SM-200 (рис. 1).

Плоскость ножа разбивалась на 50 элементов (площадок), в которых определялись напряжения и деформация. По распечатке, полученной при теоретическом исследовании на компьютере, главные напряжения  $\sigma$  изменялись от 0 до 30 МПа в месте возле посадки на вал.

Очевидно, что создать равномерное давление 0,0075 МПа на плоскости ножа в искусственных условиях весьма трудно. Поэтому исходили из следующих соображений.

Прикладывали в центре тяжести ножа сосредоточенную нагрузку

$$P = q \cdot A,$$

где  $A$  – площадь ножа.

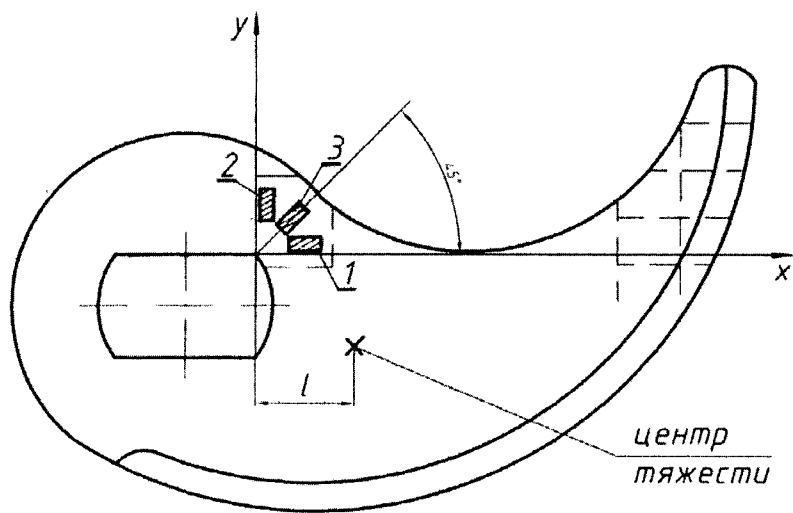


Рис. 1. Схема расположения тензодатчиков на плоскости серповидного ножа

Для определения напряжения и относительных деформаций связанных между собой пользовались обобщенным законом Гука (такое допущение может иметь место). Как известно, главное растягивающее напряжение определяется по формулам

$$\sigma_1 = \frac{E}{1 - \mu^2} \times (\varepsilon_1 + \mu\varepsilon_2), \quad (1)$$

$$\sigma_2 = \frac{E}{1 - \mu^2} \times (\varepsilon_2 + \mu\varepsilon_1) \quad (2)$$

где  $\mu$  – коэффициент Пуассона, для стали  $\mu = 0,3$ .

Схема расположения тензодатчиков представлена на рис. 1.

Очевидно, что в рассматриваемой точке необходимо определить три величины: главные напряжения  $\sigma_1, \sigma_2$  и угол  $\alpha$ , который образует напряжение  $\sigma_1$  с произвольно выбранной осью X (рис. 2).

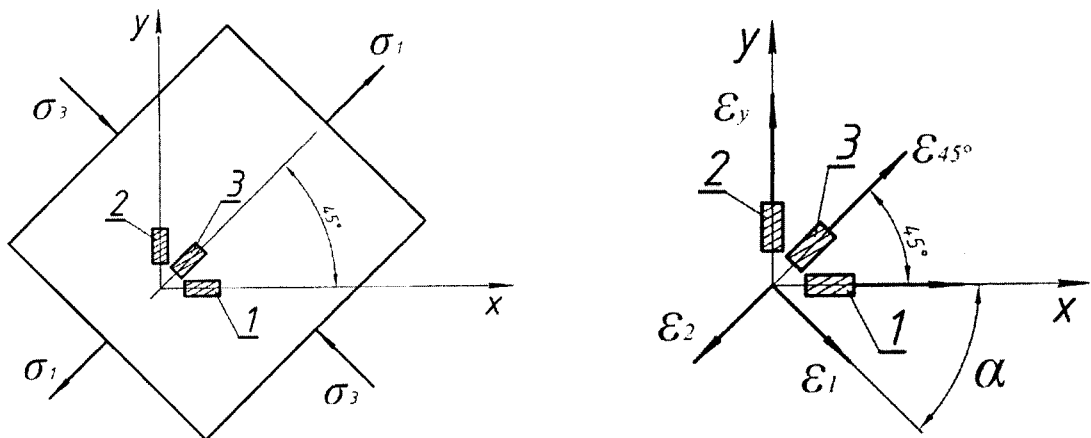


Рис. 2. Измерение напряжений и относительных деформаций в опасной точке

Оси  $\varepsilon_x, \varepsilon_y$  – главные оси деформаций. Для проведения испытаний использовались тензодатчики с базой  $S$ , равной 5 мм. Тензодатчики с такой базой измерений являются высокоточными. Для измерения показаний использовалась цифровая тензостанция. Показания по каждому тензодатчику оценивались в среднем по результату десяти испытаний. Нагрузка  $P$  составляла 170 Н.

Для определения главных деформаций использовали известные выражения из теории прочности:

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} + \frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{2\cos 2\alpha}; \quad (3)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} - \frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{2\cos 2\alpha}. \quad (4)$$

Угол  $\alpha$  определяется из выражения

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y - 2\varepsilon_{45^\circ}}{\varepsilon_x - \varepsilon_y};$$

$$\alpha = 3,6^\circ.$$

По результатам испытаний получили следующие средние значения деформаций:

$$\varepsilon_x = 120 \cdot 10^{-6}; \varepsilon_y = -40 \cdot 10^{-6}; \varepsilon_{45^\circ} = 50 \cdot 10^{-6}.$$

Из выражений (3) и (4) имеем

$$\varepsilon_1 = 120,8 \cdot 10^{-6}; \varepsilon_2 = -40,2 \cdot 10^{-6}.$$

Тогда по выражениям (1), (2) получаем:

$$\sigma_1 = 24 \text{ Мпа}; \sigma_3 = -8,5 \text{ Мпа}.$$

Учитывая, что  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ , окончательно получаем:

$$\sigma_1 = 24 \text{ Мпа}; \sigma_2 = 0; \sigma_3 = -8,5 \text{ Мпа}.$$

Сравнение теоретического и экспериментального исследований серповидного ножа дает основание для, точной оценки напряженно-деформированного состояния режущего инструмента. Это позволяет утверждать, что эти ножи находятся в условиях равноопасного (равнорочного) состояния.

Такие же экспериментальные и теоретические исследования проводились и для ножей прямолинейной режущей кромкой [3, 4]. Было установлено, что напряжения в опасном сечении для прямого ножа также находились в пределах 30-35 Мпа. Это позволяет утверждать, что эти ножи также находятся в условиях равнопрочного состояния.

## Литература

1. Бояршинов С.В. Основы строительной механики машин. – М., 1973. – 455с.
2. Груданов В.Я., Иванова И.Д., Бренч А.А. Новые куттерные ножи для измельчения сырного сырья // Мясная промышленность. – 2003. – № 4. – С. 33-35.
3. Груданов В.Я., Бренч А.А., Филиппович М.О. Куттер. Пат. № 5244. РБ, МПК7 В 02 С 3/06. 30.06.2003.
4. Груданов В.Я., Бренч А.А., Филиппович М.О. Куттер. Пат. № 5431. РБ, МПК7 В 02 С 3/30. 30.09.2003.