

родной научно-практической конференции, посвященной 30-летию кафедры технической механики конструирования машин, Майский, 24 января 2018 года / Редакционная коллегия: С.В. Стребков (председатель), А.Г. Пасухов (заместитель председателя), А.П. Слободюк, Д.Н. Бахарев, Н.В. Водолазская, А.С. Колесников, И.Ш. Бережная, О.А. Шарая, А.Г. Минасян, Компьютерная верстка: Д.Н. Бахарев, Н.В. Водолазская, А.С. Колесников. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2018. – С. 494–497.

2. Булавин, С.А. Энергосберегающая технология получения растительно-белкового витаминного концентрата из свекловичного жома / С.А. Булавин, К.В. Казаков, А.С. Колесников // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2011. – № 3. – С. 28–29.

3. Патент № 2250799 С1 Российская Федерация, МПК В01F 3/08, В01F 15/02. Смеситель жидкостей: № 2004105898/15: заявл. 27.02.2004: опубл. 27.04.2005 / С.А. Булавин, К.В. Казаков, А.С. Колесников, А.И. Шапошник; заявитель Белгородская государственная сельскохозяйственная академия (Белгородская ГСХА).

4. Булавин, С.А. Безотходная энергосберегающая технология сушки и переработки свекловичного жома / С.А. Булавин, К.В. Казаков, А.С. Колесников // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2009. – № 4. – С. 38–41.

5. Безотходная энергосберегающая технология сушки свекловичного жома / С.А. Булавин, В.Н. Любин, К.В. Казаков, А.С. Колесников // Белгородский агромир. – 2004. – № 2(14). – С. 35–37.

УДК 631.352

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ИМПРЕТАЦИЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПЛОДА ДЫНИ ЛЕЗВИЕМ

**О. Рахматов, д-р техн. наук, профессор,
С.С. Тухтамишев, старший преподаватель**

*Гулистанский государственный университет,
г. Гулистан, Республика Узбекистан
fmhayat9393@mail.ru*

Аннотация: В статье дается методика математического описания процесса резания лезвием упруго вязких материалов, на примере мякоти плода дыни. Показан вывод теоретически рассчитанных уравнений для определения критической силы резания и разрушающего контактного напряжения, которые могут быть использованы при расчете и проектировании машин и аппаратов для переработки плодов дыни.

Ключевые слова: материал, процесс резания, лезвие, усилие, слой, напряжение, кромка, угол, толщина, упругость, сжатие, деформация.

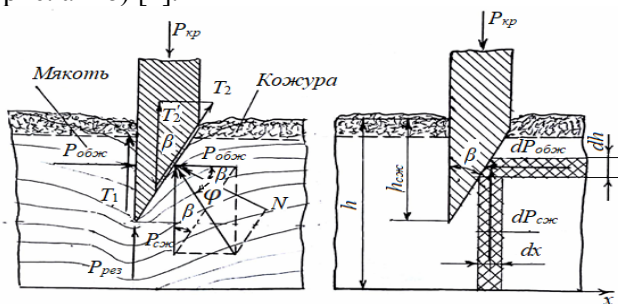
Abstract: The article provides a method of mathematical description of the process of cutting elastic viscous materials with a blade, using the example of the pulp of a melon fruit. The conclusion of theoretically calculated equations for determining the critical cutting force and destructive contact voltage, which can be used in the calculation and design of machines and devices for processing melon fruits, is shown.

Keywords: material, cutting process, blade, force, layer, stress, edge, angle, thickness, elasticity, compression, deformation.

Введение. По физико-механическим характеристикам плод дыни (кожура с мякотью) относится к упруго-вязким материалам и при механической обработке взаимодействие лезвия с кожурой характеризуется сложными физическими явлениями, трудно поддающемуся аналитическому описанию. Только при сочетании теоретических выкладок с натурными экспериментальными исследованиями возможно понимание истинной физической сущности протекающего процесса. Приняв во внимание некоторые допущения, можно определить основные факторы, влияющие на процесс, а последующими экспериментами показать на адекватность принятых суждений [1].

Основная часть. Как известно, разделение упруго-вязкого материала на части под воздействием лезвия режущего инструмента происходит при возникновении разрушающего контактного напряжения σ_p , которое определяется значением прикладываемого к лезвию критического усилия $P_{кр}$.

Рассмотрим теоретические предпосылки процесса резания упруго-вязких материалов, на примере механической обработки плода дыни токарной обработкой, т.е. удаление кожуры резанием лезвием. Если рассматривать процесс резания во времени, то вначале происходит процесс сжатия поверхностных слоев материала (в нашем случае кожуры и подкоркового слоя дыни), а затем внедрение лезвия в мякоть плода. Сказанное предположение можно проиллюстрировать на примере обработки плода дыни клинообразным лезвием (на рис. а и б) [2].



а) б)
Принципиальная схема силового взаимодействия лезвия с плодом дыни

При внедрении лезвия в плоть дыни на неё действуют следующие силы: $P_{рез}$ – сопротивление кромки лезвия; $P_{обж}$ – сопротивление

ние силы обжата в горизонтальной плоскости; $P_{сж}$ – сопротивление слоя сжатия фаской лезвия по ходу лезвия.

Геометрически разложив на составляющие силы $P_{обж}$ и $P_{сж}$, определим действующую на фаску силу N

$$N = P_{обж} \cos \beta + P_{сж} \sin \beta . \quad (1)$$

При движении лезвия на её вертикальной и косой фасках возникают силы трения T_1 и T_2

$$T_1 = f P_{обж} \quad (2)$$

и

$$T_2 = f N , \quad (3)$$

где $f = \tan \varphi$, здесь φ – угол трения.

Тогда силу N можно выразить через угол трения

$$N = \sqrt{P_{обж}^2 + P_{сж}^2} \cdot \cos \varphi , \quad (4)$$

схематично сила T_1 направлена вверх, а T_2 – под углом β наклона фаски.

Вертикальная составляющая силы T_2 равна

$$T_2' = T_2 \cos \beta . \quad (5)$$

Подставляя значение N из (4) в (3) получим

$$T_2 = f \sqrt{P_{обж}^2 + P_{сж}^2} \cdot \cos \beta \quad (6)$$

а с учетом (1), (3) и (5)

$$T_2' = f \left(\frac{1}{2} P_{сж} \sin 2\beta + P_{обж} \cos^2 \beta \right) . \quad (7)$$

Условие начала резания выполняется в случае, когда сумма всех сил, действующих в вертикальной плоскости, меньше критической силы $P_{рез}$, приложенной к лезвию, т.е.

$$P_{кр} \geq P_{рез} + P_{сж} + T_1 + T_2' . \quad (8)$$

Силу $P_{рез}$ можно определить, как произведение площади режущей кромки лезвия $F_{кр}$ на разрушающее контактное напряжение σ_p

$$P_{рез} = \sigma_p F_{кр} = \delta \Delta l \sigma_p , \quad (9)$$

где δ – толщина лезвия; Δl – длина лезвия.

Для раскрытия величины $P_{сж}$ и $P_{рез}$, входящих в выражение (8), рассмотрим усилия, действующие на элементарный объем мякоти со стороны косой фаски лезвия (рис. б). При этом относительное

сжатие $\varepsilon_{с.ж.}$ выделенного элементарного объема со стороны косой фаски равно

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_{с.ж.} = \frac{h_{с.ж.(x)}}{h}. \quad (10)$$

Для упрощения решаемой задачи выразим относительное сжатие через напряжение σ и модуль деформации E , т.е. $\varepsilon_{с.ж.} = \sigma / E$.

Логично было – бы судить, что $\varepsilon_{с.ж.}$ пропорционально зависит от σ , однако, как показали предварительные эксперименты, с увеличением $\varepsilon_{с.ж.}$ рост напряжения $\sigma = P_{с.ж.} / F_x$ отстает от темпа роста силы $P_{с.ж.}$ и изменяется по криволинейной зависимости

$$F_x = \Delta l h_{с.ж.} \operatorname{tg} \beta. \quad (11)$$

В этом случае, приняв напряжение как функцию от отношения $P_{с.ж.}$ к первоначальной площади получим степенную зависимость

$$\varepsilon_{с.ж.} \cdot E = \sigma^n, \quad (12)$$

где показатель степени $n=1$.

Тогда элементарная сила сжатия $dP_{с.ж.}$ действующая на площадь dF длиной, равной единице, и шириной dx представляется в виде

$$dP_{с.ж.} = E \varepsilon_{с.ж.} dh_{с.ж.} \operatorname{tg} \beta \quad (13)$$

или подставляя (10) в (13), получим

$$dP_{с.ж.} = E \frac{h_{с.ж.(x)}}{h} dh_{с.ж.} \operatorname{tg} \beta. \quad (14)$$

Интегрирование выражения (14) даёт

$$P_{с.ж.} = \frac{E}{2h} h_{с.ж.}^2 \operatorname{tg} \beta, \quad (15)$$

которое показывает, что необходимая сила $P_{с.ж.}$ для сжатия слоя фаской лезвия находится в квадратичной зависимости от величины $h_{с.ж.}$ и графически представляет собой параболу.

В горизонтальной плоскости относительная деформация равна ε_1 , при этом элементарная сила обжатия равна

$$dP_{об.ж.} = \varepsilon_1 E dh_{с.ж.}. \quad (16)$$

Относительные деформации в горизонтальной и вертикальной плоскостях ε_1 и $\varepsilon_{с.ж.}$ взаимосвязаны через коэффициент Пуассона μ .

$$\varepsilon_1 = \mu \varepsilon_{с.ж.}. \quad (17)$$

Тогда, подставляя (10) в (17), получим

$$\varepsilon_1 = \mu \frac{h_{сжс(x)}}{h}. \quad (18)$$

Элементарная сила, действующая со стороны горизонтального столбца, равна

$$dP_{обжс} = \mu \frac{h_{сжс(x)}}{h} E dh_{сжс}, \quad (19)$$

а сила, обжимающая косую фаску лезвия

$$P_{обжс} = \mu \frac{E h_{сжс}^2}{2 h}. \quad (20)$$

Принимая во внимание, что коэффициент Пуассона имеет малые значения, можно сказать, что $P_{обжс}$ составляет незначительную долю от величины $P_{кр}$ и подставляя значения всех сил, противодействующих $P_{кр}$ в выражение (8), получим

$$P_{кр} \geq \delta \sigma_p + \frac{E h_{сжс}^2}{2 h} \operatorname{tg} \beta + \frac{f \mu E h_{сжс}^2}{2 h} + f \left(\frac{E h_{сжс}^2}{4 h} \operatorname{tg} \beta \sin 2\beta + \frac{\mu E h_{сжс}^2}{2 h} \cos^2 \beta \right) \quad (21)$$

или, математически преобразуя, приведем к окончательному виду

$$P_{кр} = \delta \sigma_p + \frac{E h_{сжс}^2}{2 h} \left[\operatorname{tg} \beta + f \sin^2 \beta + \mu f (1 + \cos^2 \beta) \right], \quad (22)$$

где δ – толщина лезвия, m ; σ_p – разрушающее контактное напряжение на кромке лезвия, Pa ; h и $h_{сжс}$ – соответственно толщина перерезаемого слоя материала и слоя сжатого лезвием до момента начала резания, m ; β – угол заточки лезвия, *градус*; E – модуль упругости, Pa ; μ – коэффициент Пуассона; f – коэффициент трения материала о лезвие.

Закключение. Таким образом, что выведенное математическое выражение для определения критического усилия резания упруго-вязких материалов иллюстративно характеризует основную взаимосвязь между наиболее важными конструктивными (β , δ), физико-механическими (E , μ , f , σ_p) и некоторыми режимными (h , $h_{сжс}$) параметрами, влияющими на процесс резания лезвием.

Список использованной литературы

1. Рахматов О., Тухтамишев С.С. Экспериментально-теоретические определение модуля упругости и коэффициента трения для овощебахчевых культур. Технические науки. Номер 3. Выпуск 3. – Ташкент, 2020. – С. 53–59.
2. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. – Москва: Машиностроение, 1975. – 311 с.