

Рязане на многослойни храни и опаковъчни материали

Виктор Гуць, Олексий Губеня

Cutting of multilayer food and packaging materials. In the food industry most food products and some packaging materials are laminated, or have inclusions that are different structural and mechanical properties of the main volume product. Feature cutting such products - increase efforts at resistance movement blade to approaching blotches or a layer. The technique of cutting research, conducted modeling the blade in multilayer products, conducted experimental research. In the results obtained a number of mathematical models of cutting in the form of second order differential equations that allow to determine the cutting force and speed of the blade in the product. Provides recommendations for cutting tool modes of motion, its orientation relative to the product layers.

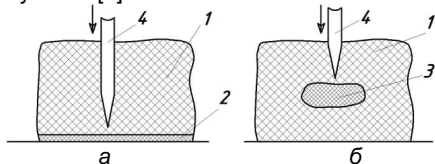
Keywords: cutting food, cutting conditions, mathematical modeling, multi-layer products.

ВЪВЕДЕНИЕ

Хранителните продукти могат да бъдат еднакви по целия си обем (захарно цвекло, месо без кости, сладкарски продукти и др.), многослойни или с примеси (фиг. 1). Последните два вида се различават по структурно–механични свойства, при сравнение с еднородните хранителни продукти [1,2].

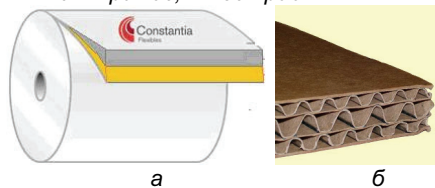
Например, това са месни хранителни продукти, които имат слоеве със жили, кожи и кости. Зеленчуци, които имат твърда външна обвивка. Хлебни изделия, които се състоят от мека среда и твърда коричка.

Опаковъчните материали също могат да бъдат многослойни. [3,4,5]. Например, това са опаковки от полимерни слоеве, вълнообразен картон [3,5], ПЕТ-бутилки [4].



Фиг. 1. Рязане на многослойни продукти

1 – продукт; 2 – обвивка;
3 – примес; 4 - острие



Фиг. 2. Многослойни опаковъчни материали:

а – фолио; б - вълнообразен картон

При моделиране и оптимизация на процеса рязане, както и при избор на режимни параметри за работа на оборудване за нарязване не се отчита влиянието на отделните слоеве при многослойни продукти или наличието на опаковка.

Нарязването на продуктите с обвивка значително се различава от нарязване на еднородни по структура продукти. При достигането на ножа до обвивката възниква кратковременно увеличение на силата на рязане. Това води до промяна на износостойчивостта на острието и влошаване на качеството на повърхността на продукта.

На изменението на силата на рязане съществено влияе мястото на обвивката на продукта – тя може да бъде на входа или изхода на острието от продукта, или се разполага вътре в него.

Методика на изследването

За определяне на закона на рязане на нееднородни по структура хранителни продукти са направени аналитични и експериментални изследвания.

Методиката на аналитичните изследвания се определя от анализа на механизма на движение на ножа в продукта под действие на приложени сили и

извеждането на математическите модели на движението на ножа в продукта чрез диференциални уравнения от втори ред.

Методиката на експерименталните изследвания се определя чрез използването на известни от механиката методи за определяне на силата на рязане.

Силата на рязане в различни материали е определена с помощта на експериментални уреди на махален принцип, а също така и с математически модели, публикувани в различни литературни източници.

Аналитично изследване на рязането на многослойни продукти

1. Моделиране рязането на еднородни продукти.

При рязане на еднороден продукт върху острието действат следните сили:

- Рязане F_r
- Триене:

$$G = C + k_1 V = C + k_1 \frac{dy}{dt} \quad (1)$$

- Инерция:

$$P_i = ma = m \frac{d^2 y(t)}{dt^2} \quad (2)$$

където C , k_1 – кофициенти, които характеризират триенето;

y , V , a – движението, скоростта и ускорението на острието.

Диференциалното уравнение на движение на острието може да се запише, а участващите сили в процеса на рязане да се представят като:

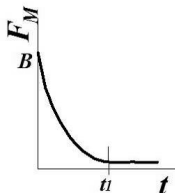
$$F_r + G + P_i = 0 \Rightarrow F_r + (C + k_1 \frac{dy(t)}{dt}) + m \frac{d^2 y(t)}{dt^2} = 0 \quad (3)$$

След решаване на уравнението се получава уравнение, даващо възможност да се определи силата на рязане в зависимост от скоростта на движение на острието и свойствата на продукта:

$$F_r = \frac{k_1 \frac{dy(t)}{dt} - e^{-\frac{k_1 t}{m}} (C + V_{oy} k_1) + C}{e^{-\frac{k_1 t}{m}} - 1} \quad (4)$$

Подробен анализ на уравнението е показано в други публикации [1, 2].

2. Моделиране рязането на нееднородни по обем продукти.



Фиг. 3. Изменение на моментната сила.

Особеност при рязането на нееднородни продукти е възникването на кратковременно действаща сила при приближаване на острието към обвивката:

$$F_M = B e^{-bt} \quad (5)$$

Тя действа за кратък период от време и причина за появата ѝ е преодоляване на силите на триене между острието и обвивката.

Изменението на моментната сила във времето е представено на фиг. 3.

Времето на нейното действие $0-t_1$ е значително по-малко от движението на острието в продукта.

Уравнение на движение на острието е:

$$F_r + G + P_i + F_M = 0 \quad (6)$$

Диференциално уравнение на движението на острието в този случай може да се запише като:

$$F_r + (C + k_1 \frac{dy(t)}{dt}) + m \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + B e^{-bt} = 0 \quad (7)$$

При начални условия ($t=0 \Rightarrow x(0)=0, V(0)=V_0$) се получават изрази за определяне на стойностите на преместването (8), скоростта (9) и силата на рязане (10).

$$y(t) = \frac{m(1 - e^{-\frac{k_1 t}{m}})(V_0 k_1 + C + F_r)}{k_1^2} + \frac{k_1(B(1 - e^{(bt)}) + bt(C + F_r)) - mb(bt(C + F_r) + B(1 - e^{-\frac{k_1 t}{m}}))}{(mb - k_1)k_1 b} \quad (8)$$

$$V(t) = \frac{e^{-\frac{k_1 t}{m}}(V_0 k_1 + C + F_r)}{k_1} + \frac{k_1(Bbe^{(-bt)} + b(C + F_r)) - mb(b(C + F_r) + \frac{Bk_1 e^{-\frac{k_1 t}{m}}}{m})}{(mb - k_1)k_1 b} \quad (9)$$

$$F_r = \frac{Vk_1 mb - Vk_1^2 + e^{-\frac{k_1 t}{m}}(-V_0 k_1 mb + V_0 k_1^2 - mbC + Bk_1) + k_1 C - k_1 B e^{(-bt)} - k_1 C + Cbm}{e^{-\frac{k_1 t}{m}}(mb - k_1) + k_1 - mb} \quad (10)$$

Мощността на рязането се определя по формулата:

$$N = F_{rm} \frac{dy(t)}{dt} \quad (11)$$

където F_{rm} е максималната сила на рязане.

Моментната сила може да бъде изчислена от зависимостите:

$$F_M = A e^{-B(\ln t)^2} \quad (12)$$

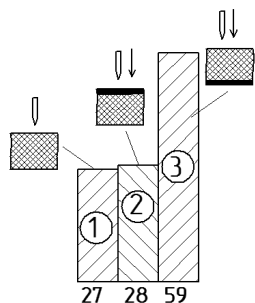
$$F_M = k e^{-(t-a)^n} \quad (13)$$

Решаването на тези уравнения по обичайния начин е трудно, поради което се използват приблизителни методи, реализирани в съответните компютърни програми.

Експериментално изследване.

Изменението на силата на рязането е доказано експериментално, като с помощта на уравнение (4) е получена силата на рязане на месо с жилести слоеве.

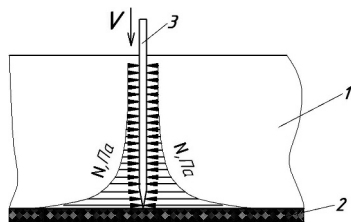
Жилестите слоеве се намират на влизане или излизане на острието от продукта. Силата на рязане на отделен жилест слой е толкова малка, че не може да се отчете с измервателен прибор. Но при рязането на месо със жилест слой силата на рязане се увеличава при наличието на обвивка на изхода на острието от продукта (фиг.4).



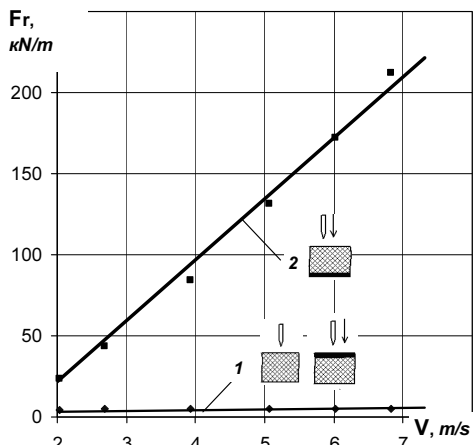
Специфична сила на рязане, kN/m

Фиг. 4. Зависимост на силата на рязане на месо от положението на жилата в месото:

- 1 – без жилест слой;
- 2 – слой на входа на острието в продукта;
- 3 – слой на изхода от продукта



Фиг. 6. Налягане на повърхността на ножа:
1 – продукт; 2 – обвивка; 3 – острие.



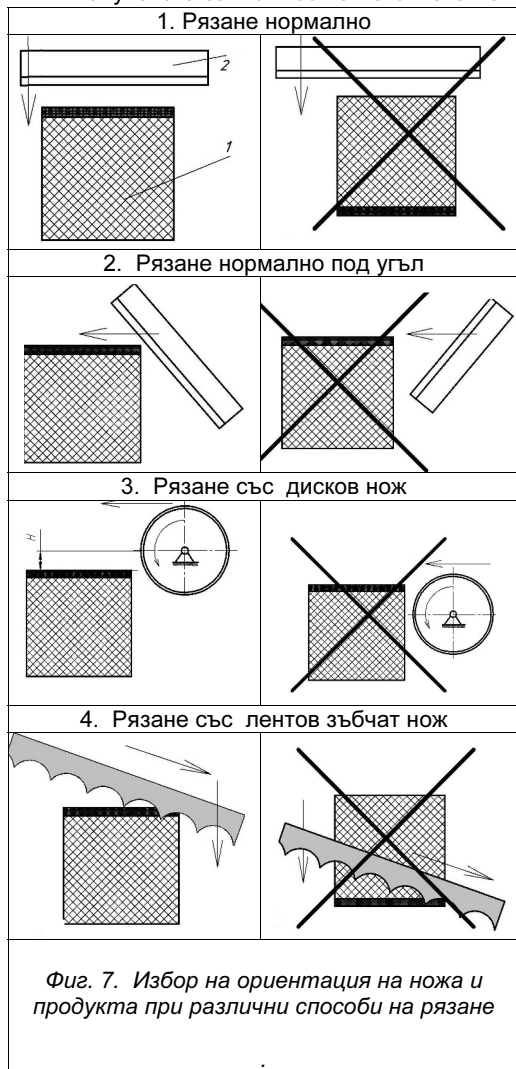
Фиг. 5. Зависимост на специфичната сила на рязане на порест пенопласт с обвивка от скоростта на рязане:

- 1 – обвивка на входа на острието в продукта;
- 2 – обвивка на изхода на острието.

Адекватността на получените модели е потвърдена и за други продукти. Например, наличието на тънък полимерен слой увеличава силата на рязане от 20 до 50 пъти при условието, че слоя се намира на изхода на острието.

Да се получат точните резултати за хранителни продукти е трудно, тъй като те не притежават постоянни свойства. Затова се използва моделно тяло – порест пенопласт. Ролята на обвивка се изпълнява от залепен полимерен слой.

Получена е зависимостта на силата на неговото нарязване от разположението



на обвивката.

Наличието на обвивка на изхода на острието с продукта увеличава силата на рязане 50 пъти. Работата за рязане на обвивката в този случай е много малка.

Но, ако обвивката е на изхода на острието, се създава съпротивление на деформиране на продукта при движението на острието. При това на страничната повърхност на острието действа голямо налягане и възниква значителна сила на триене.

Експериментално е доказано, че най-голямото съпротивление на движението на острието се появява при неговото максимално приближение към обвивката.

При нарязването на моделно тяло е установено, че това разстояние е 0.5 mm.

Например, средната сила на рязане на моделното тяло при дебелина на пенопласт 0.5 mm е 82 kN/m, при дебелина 2 mm - 83 kN/m, 20 mm - 83 kN/m (при скорост на острието 5 m/s). Това се описва с експоненциална зависимост на моментната сила на рязане от (формули 9, 10, фиг. 6).

Направен е извод, че структурата на продукта влияе на силата на рязане. Обвивката и нейното положение на изхода на острието от продукта значително увеличава силата на рязане, поради което такова нарязване на продукта е нерационално.

Да разгледаме рационални методи на ориентация на

режещите работни органи на различни начини за нарязване на продукти с обвивка.

При нормално нарязване на продуктите обвивката трябва да бъде на входа на острието в продукта. При това ножа лесно разрязва обвивката и след това тя предотвратява деформацията на продукта.

Правилното положение на острието при нарязването под ъгъл (фиг. 7) също така позволява да се намалява силата на рязане. В началото разрязваме обвивката, а след това – основната маса на продукта.

При неправилна ориентация на острието обвивката постоянно ще се намира на изхода от продукта, създавайки по този начин голямо съпротивление на деформация и съответно увеличаване силата на триене.

При рационално рязане с дисков нож в началото се разрязва обвивката. Ако оста се намира по-ниско от обвивката – възниква допълнително триене. Аналогично се избира ориентацията на продукта при нарязването чрез лентов зъбчат нож.

Известно е, че минималната сила на съпротивлението на движение на острието възниква при нормално рязане. В случаите на рязане с дисков или лентов зъбчат нож възниква допълнително приплъзване на продукта по неговите странични повърхнини. Увеличаването на страничната натовареност на ножа при неговото приближаване към обвивката оказва още по-голямо негативно влияние на процеса на рязане, тъй като силата на триене нараства многократно при сравнение с нормално рязане.

ИЗВОДИ

1. Силата на рязане на продуктите с обвивка, а също така и качеството на повърхнината на продукта зависи от разположението на обвивката относно движението на острието.

2. Получени са математични модели на движението на острието в нееднородни по структура продукти.

3. Изпълнението на изискванията по избора на ориентация на режещите инструменти за многослойни продукти позволява да се получи високо качество на нарязване при минимални загуби на енергия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gubenia O., Guts V. Modeling of cutting of food products / EcoAgroTourism. - 2010. - N1. – P. 67-71.

2. В. Гуць, А. Губеня. Определение усилия резания продуктов с разными структурно-механическими свойствами / Научни трудове на УХТ, том 57, свитък 2. – Пловдив – 2010. - С. 411-416

3. Д. Господинов, В. Хаджийски, С. Стефанов. Моделиране на вълнообразен картон с използване на метода на крайните елементи / Научни трудове на РУ "Ангел Кънчев"- 2010, том 49, серия 9.2. стр.114-119.

4. С. Стефанов, Ч. Саздов. Състояние и тенденции при производството на PET бутилки. / ХВП. № 6, 2009.

5. <http://www.vishalpacks.com/corrugated-packaging-products.htm>

За контакти:

Виктор Гуць – д.т.н., професор, ръководител на катедра за безопасност на живот, Национален университет по хранителни технологии, Киев, Украйна.

Олексий Губеня – к.т.н., Доцент на катедра на машини и апарати за хранителната и фармацевтичната промишленост, Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украйна. Gubena@meta.ua

Докладът е рецензиран