

ЯК ВИЗНАЧИТИ ОПТИМАЛЬНИЙ ПРОФІЛЬ

формуючого каналу
матриці екструдера

При конструюванні екструдерів визначають такі раціональні розміри його елементів, за яких досягають потрібних органолептичних показників продукції, заданої продуктивності обладнання, поліпшення умов його роботи

ОДИН з основних елементів екструдера – матриця, форма й розміри якої визначають поперечний переріз джгута. Профілювання передматричного простору й матриці екструдерів передбачає визначення конфігурації вхідної частини формуючого каналу, за якої не утворюються застійні зони й забезпечується потрібна якість продукції.

Для якісної поверхні готових виробів у процесі формування екструзією важливе значення має геометрія і матеріал формуючого каналу. Поява шорсткості й розривів на поверхні виробів спричинена невдалою конструкцією, вона знижує газоутримуючу здатність тістової заготовки й погіршує товарний вигляд продукції. У каналі відбувається релаксація напружень, отриманих у вхідній зоні, і стабілізація потоку маси. **Невиправдане збільшення довжини формуючого каналу призводить до погіршення енергетичних показників роботи обладнання.**

Дослідження впливу геометрії вхідної ділянки, довжини й діаметра формуючого каналу на стан поверхні та розбухання екструдованого джгута можуть запропонувати таку форму матриці, за якої вдасться уникнути застійних зон, огрублення поверхні екструдату й забезпечити рівномірнішу швидкість випресовування по довжині матриці.

Відомо, що для забезпечення потрібної якості екструдату, зменшення напружень у тісті вхід у формуючий отвір треба робити плавним. У теорії обробки пластичних мас використовують залежність,

яка дає змогу будувати вхідний криволінійний профіль каналу:

$$r = \sqrt{\frac{1}{R_{ex}^{-2} + \frac{x}{L_{ex}}(R^{-2} - R_{ex}^{-2})}} \quad (1)$$

де r – змінний радіус каналу, м; R_{ex} – радіус вхідного перерізу, м; x – змінна поздовжня координата, м; L_{ex} – довжина вхідної ділянки, м; R – радіус перерізу циліндричної частини каналу, м.

Однак використовувати цю формулу можна за умови, що відомі основні геометричні розміри формуючого елемента – R_{ex} , L_{ex} , R , тоді як мета проектування нового обладнання і створення нової харчової продукції – саме визначення цих величин. Традиційно для встановлення раціональних конструктивних розмірів обладнання або технологічних режимів проводили численні експерименти як з використанням математичних, так і фізичних моделей. Оптимальні ж параметри через складність завдання і відсутність відповідних методик, як правило, не визначали. **Мета даної статті – представлення методики розв'язання задач оптимізації конструктивно-технологічних параметрів процесів деформування харчових матеріалів і визначення з її використанням оптимального профілю формуючого каналу.**

Оптимізувати будь-яку задачу можна, якщо існує кілька рішень, тобто є варіанти вибору, крім того, кожне рішення оцінюється певним об'єктивним критерієм. Оптимізувати задачу можна аналітичними, чисельними методами або методами

програмування. Оптимальні конструктивні розміри формуючого елемента пропонуємо знаходити саме методами математичного програмування. Така задача в лінійній постановці полягає у виборі виду цільової функції з набором обмежень. Як цільову функцію при розрахунку процесу беремо максимальну продуктивність екструдера, яку можна подати у вигляді

$$\Pi = \sum_{i=1}^n C_i \cdot X_i \rightarrow \max, \quad (2)$$

де C_i – коефіцієнти функції мети; X_i – керовані параметри, які впливають на якість екструдованого джгута; n – кількість керованих параметрів.

Щоб за формулою (1) розрахувати вхідний профіль матриці, при розв'язанні задачі оптимізації як керовані параметри, було взято такі конструктивні характеристики: радіус вхідного перерізу – $R_{вх}$; довжина вхідної ділянки $L_{вх}$; радіус перерізу циліндричної частини каналу – R ; загальна довжина матриці – L (рис. 1). При виборі верхньої і нижньої межі керованих параметрів використали результати вивчення існуючих матриць, які застосовуються в промисловості.

Звичайно, на продуктивність також впливають тиск випресовування і характеристики матеріалу, що

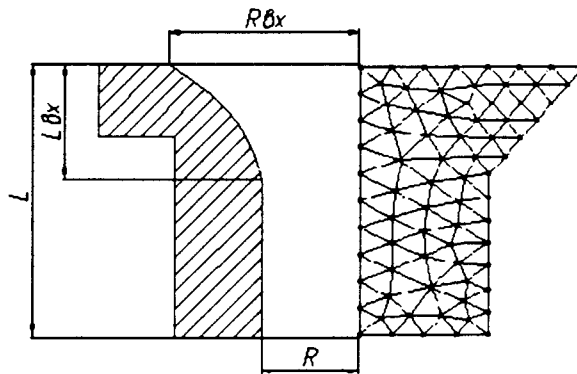


Рис.1. Ескіз і скінченно-елементна модель матриці.

екструдується, зокрема, його вологість і рецептурний склад. Але в даному випадку ці значення не змінювалися, тому досліджували вплив на продуктивність тільки конструктивних параметрів формуючої частини обладнання.

Функція мети (2) має бути максимізована завдяки оптимальному вибору значень керованих параметрів X_1, X_2, \dots, X_n , які повинні задовольняти певні обмеження Y_j виду:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} \cdot X_i \quad R_j \quad b_j, \quad j=1 \dots m, \quad (3)$$

де a_{ij} – коефіцієнти при обмеженнях; b_j – задані граничні значення обмежень; R_j – один із знаків " \geq ", " $=$ " або " \leq "; m – кількість обмежень.

Як обмеження розглянуто діаметр екструдату, швидкість екстру-

дування, розподіл пористості по перерізу виробу й контактні напруження. Граничні значення цих обмежень добирали з таких міркувань.

Продуктивність екструдера безпосередньо пов'язана з діаметром екструдованого джгута і зростає із його збільшенням. Однак діаметр відформованого виробу має відповідати значенню, заздалегідь заданому виробником (наприклад, 34 мм). Окрім того, із збільшенням діаметра формуючого елемента підвищується розпливчастість екструдату, а отже, погіршується форма виробу.

При встановленні в технологічну лінію певної машини чи апарата керуються продуктивністю основного обладнання, для хлібопекарської галузі – це піч. Тому у випадку екструдуювання тістових джгутів безпосередньо на під печі (без поперед-

Визначення оптимальних розмірів матриці

	$R_{вх}, \text{мм}$ (x_1)	$L_{вх}, \text{мм}$ (x_2)	$R, \text{мм}$ (x_3)	$L, \text{мм}$ (x_4)
Значення	14,01127	10	6,78035	27,66959
Нижня межа, мм	10	5	5	15
Верхня межа, мм	15	10	10	30
Коефіцієнти функції мети, $\frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{мм}}$	0,00041	0,00028	0,00013	0,00023

Назва обмежень	Коефіцієнти при невідомих				Ліва частина	Знак	Права частина	Невикористані ресурси
	x_1	x_2	x_3	x_4				
Діаметр екструдату (y_1)	0,78	0,11	1,2	0,5	34	=	34	1E-06
Швидкість випресовування (y_2)	0,00023	0,00019	0,00038	0,0003	0,016	=	0,016	5,62E-12
Контактні напруження (y_3)	5,05	3,97	5,96	8,1	374,99	<=	400	-25,0086
Розподіл пористості (y_4)	0,008	0,004	0,04	0,01	0,7	>=	0,7	-5,2E-10

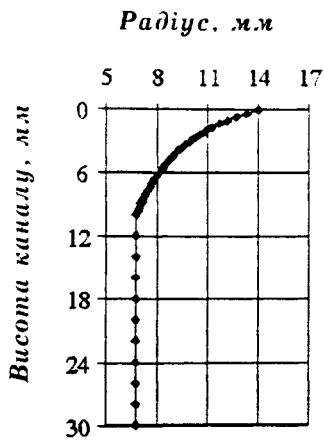


Рис. 2. Криволінійний вхідний профіль формульного каналу.

нього вистоявання) швидкість випресовування слід узгоджувати із швидкістю руху стрічки поду печі – 0,016 м/с.

Співвідношення між геометричними параметрами матриці значною мірою визначає стан пористості виробу. У центрі вона повинна бути такою, як поблизу поверхні заготовки, однак практично досягти цього неможливо. Тому для забезпечення потрібної якості продукції можна вважати достатнім співвідношення між мінімальним і максимальним значеннями вмісту газової фази – 0,7.

Відомості про величини контактних напружень необхідні для забезпечення надійної роботи обладнання. Їх значення не повинні перевищувати допустимі, які для фторопласту, з якого виготовлено формуючий канал, становлять 400 кПа.

Найбільш складне завдання – визначення коефіцієнтів функції мети C_i та обмежень a_{ij} . Для обчислення значень цих коефіцієнтів розроблено спеціальну методику на основі методів кінцевих елементів і різниць, яка передбачає аналіз напружено-деформованого стану тіста, що екструдуються. При цьому розглядають кілька варіантів геометрії – базовий і змінні. Зміна геометрії базового варіанта відбувається по черговим варіюванням відповідних розмірів каналу, обраних як керовані параметри (R_{ax} , L_{ax} , R та L – рис. 1), при фіксації решти.

Для знаходження числових величин коефіцієнтів C_i та a_{ij} значення продуктивності й параметрів-обмежень, обчислені для базової геомет-

рії матриці екструдера, порівнюють із значеннями, розрахованими для зміненої геометрії, тобто визначають вплив зміни відповідного керованого параметра на показники роботи обладнання. Наприклад, для базової геометрії матриці швидкість випресовування – $v_{баз}$. При зміні радіуса циліндричної частини каналу до $R_{змін}$ порівняно з базовим $R_{баз}$ швидкість змінилася до $v_{змін}$. Тоді відповідний коефіцієнт a_{32} при обмеженні Y_2 (швидкість випресовування) визначають за формулою

$$a_{32} = \frac{v_{змін} - v_{баз}}{R_{змін} - R_{баз}}, 1/c. \quad (4)$$

Необхідні для розв'язання задачі оптимізації дані – значення нижньої і верхньої меж керованих параметрів, коефіцієнтів функції мети, коефіцієнти в рівняннях і нерівностях для обмежень і безпосередньо чисельної величини цих обмежень заносять у таблицю певної форми (див. таблицю). Оптимальний розв'язок знаходять автоматично засобами широко вживаної програми Excel з допомогою функції "Пошук рішення".

У результаті розрахунку одержано значення функції мети, яке дорівнює 0,01579 кг/с., і величини R_{ax} , L_{ax} , R та L (див. таблицю). Підставивши їх у формулу (1), матимемо криволінійний вхідний профіль формульного каналу (рис. 2).

Таким чином, запропонована методика розв'язання задач оптимізації методами математичного програмування базується на аналізі напружено-деформованого стану досліджуваного матеріалу, виконаного з допомогою математичного моделювання й реалізується засобами програми Excel. Її можна використовувати для розгляду багатьох технологічних процесів.

При екструдванні дріжджового тіста варто застосовувати матрицю з параметрами $R_{ax}=14,01$ мм, $R=6,78$, $L_{ax}=10$, $L=27,67$ мм. Ці розміри забезпечують максимальну продуктивність екструдера при заданих діаметрі екструдату, швидкості випресовування, контактних напруженнях і розподілі пористості.

О. ЧЕПЕЛЮК,
кандидат технічних наук
Національний університет харчових технологій

ХАРЧОВА

і переробна промисловість

ЩОМІСЯЧНИЙ НАУКОВО-ВИБРОНИЧИЙ ЖУРНАЛ

Держпроду і Національного університету харчових технологій
ПІК ЗАСНУВАННЯ 1960

6 (310)

червень 2005

Київ, 2005

© "Харчова і переробна промисловість", 2005

Зареєстровано:

серія КВ №7067

від 17.03.03 р.

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

П. О. Яриш

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

О. Б. Бутнік-Сіверський

(докт. екон. наук),

А. О. Заїнчковський

(докт. екон. наук),

Л. І. Зінченко,

В. М. Ковбаса

(докт. техн. наук),

В. К. Куржнір,

А. П. Ладанюк

(докт. техн. наук),

С. Т. Олійничук

(докт. техн. наук),

Ю. Д. Пилипенко,

І. О. Сингаївський

(докт. екон. наук),

М. О. Темченко

(заступник головного редактора),

А. І. Українець

(докт. техн. наук),

С. П. Циганков

(докт. техн. наук),

Г. Ф. Шелковніков,

В. О. Штангесв

(докт. техн. наук),

В. В. Яницький.

Склад редакційної колегії затверджено рішенням науково-технічної ради Укрхарчпрому.

Адреса редакції:

вул. Тарасівська, 9-а,

оф. 27-2,

м. Київ, 01033;

тел./факс: 227-97-06.

АТЗТ "Самміт", тел./факс: (044) 280-77-45, 288-97-44;

Передплатний індекс журналу в каталозі ДП "Преса": 74547. Альтернативна передплата: 3417 "Повелення"